This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF CALIFORNIA.

Class

AUTRES OUVRAGES DES MÊMES AUTEURS

EN VENTE A LA MÊME LIBRAIRIE

J. CLAUDEL et L.-A. BARRÉ. — **Introduction à la Science de l'ingénieur.** *Aide-mémoire des ingénieurs, des architectes, etc.*, PARTIE THÉORIQUE. 1 fort volume in-8° de 1.220 pages, avec 725 figures intercalées dans le texte et 3 planches. 7e édition. PRIX..... 19 fr.

J. CLAUDEL et L.-A. BARRÉ. — **Formules, Tables et renseignements usuels.** *Aide-mémoire des ingénieurs, architectes, etc.*, PARTIE PRATIQUE. 2 volumes in-8° comprenant 2.158 pages, avec un grand nombre de figures intercalées dans le texte, et des planches. 10e édition. PRIX..... 30 fr.

J. CLAUDEL et SÉGUIN aîné. — **Tables des carrés et des cubes des nombres entiers successifs de 1 à 10.000.** 1 volume in-8°. PRIX..... 5 fr.

J. CLAUDEL et F. LECOY. — **Comptes faits.** *Table des produits des nombres entiers de 1 à 1.000 par les nombres entiers de 1 à 100.* 1 volume in-8°. PRIX..... 5 fr.

J. CLAUDEL, L.-A. BARRÉ et F.-M. JAÏ. — 2e édition du **Traité spécial de la coupe des pierres**, par J.-P. DOULIOT. 1 fort volume in-4°, avec figures intercalées dans le texte, et un atlas de 123 planches. PRIX..... 30 fr.

J. CLAUDEL et L.-A. BARRÉ. — **Ponts biais** (Extrait du *Traité de la Coupe des pierres*). 1 volume in-4°, avec figures et planche. PRIX..... 7 fr. 50

Colonel EMY et L.-A. BARRÉ. — **Traité de charpente.** 3 volumes in-4°, avec atlas. PRIX..... 125 fr.

L.-A. BARRÉ. — **Charpenterie métallique.** 2e édition, in-4°, avec atlas. PRIX..... 35 fr.

PRATIQUE

DE

L'ART DE CONSTRUIRE

MAÇONNERIE ET TERRASSEMENTS
CHARPENTE, COUVERTURE ET AUTRES TRAVAUX DE BATIMENT
MATÉRIAUX ET CALCULS DE RÉSISTANCE
ESTIMATION DES TRAVAUX

OUVRAGE NÉCESSAIRE
aux Ingénieurs, Architectes, Entrepreneurs, Conducteurs, Métreurs, Maîtres Ouvriers, etc.

PAR

J. CLAUDEL
Ingénieur civil
Ancien élève de l'École centrale des Arts et Manufactures.
Professeur à l'Association Philotechnique,
Chevalier de la Légion d'honneur.

ET

L. LAROQUE
Entrepreneur des travaux publics
et du service municipal de la ville de Paris,
Ancien collaborateur
à la direction des travaux de l'exploitation
du ciment Gariel, de Vassy.

SIXIÈME ÉDITION, AVEC FIGURES
COMPLÈTEMENT REFONDUE ET AUGMENTÉE DE CHAPITRES NOUVEAUX

PAR

L.-A. BARRÉ
Ingénieur civil, ancien élève de l'École centrale des Arts et Manufactures,
Professeur à l'Association Polytechnique,
Chevalier de la Légion d'honneur,
Officier de l'Instruction publique.

LIBRARY OF THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA

PARIS
Vve CH. DUNOD, ÉDITEUR
LIBRAIRE DES CORPS NATIONAUX DES PONTS ET CHAUSSÉES, DES MINES ET DES TÉLÉGRAPHES
49, Quai des Grands-Augustins, 49

1899

PRATIQUE

DE

L'ART DE CONSTRUIRE

tout, J. Claudel, fut notre ami après avoir été l'un de nos professeurs, a amené les éditeurs à nous faire l'honneur de nous confier la nouvelle édition de leur excellent livre, épuisé depuis longtemps, comme ils nous avaient déjà confié la revision de l'*Introduction à la Science de l'ingénieur* et celle de l'*Aide-Mémoire des ingénieurs, architectes, etc.*

Mais, étant donnée l'importance prise dans la construction courante par certaines méthodes nouvelles et certains matériaux nouveaux, il nous a semblé difficile de nous en tenir au cadre primitif, c'est-à-dire à la construction en pierre et dérivés.

Nous avons donc, tout en mettant la partie *Maçonnerie et Terrassements* au courant des progrès réalisés, augmenté considérablement cet ouvrage par l'adjonction de chapitres nouveaux sur la *Charpente en bois et en fer*, sur la *Couverture* et, d'une manière générale, sur tous les autres travaux de bâtiment. Nous avons cherché en un mot à faire que ce livre fût réellement la « Pratique de l'Art de construire », de toutes les façons possibles, en pierres, en bois, en fer, etc.

Tout en nous bornant forcément, à cause des limites de notre cadre, à ne donner sur certaines catégories de travaux que les faits essentiels, nous avons au contraire continué à donner le plus de développements possible aux travaux courants de maçonnerie et de terrasse qui forment à eux seuls la moitié environ du devis d'une construction quelconque.

Les documents et règlements officiels, les prix des principaux matériaux et ouvrages, le temps de leur exécution, tout cela a été mis au courant.

La partie relative au *calcul de la résistance des matériaux et des ouvrages* a reçu aussi un grand développe-

ment, et nous avons inséré dans ce livre un grand nombre de résultats de nos recherches personnelles, qui éviteront, nous l'espérons, de longs calculs, à ceux qui se serviront de nos tableaux numériques.

Nous pensons donc que, grâce à ces extensions nouvelles, l'œuvre de Claudel et Laroque continuera à conserver la notoriété qu'avait su lui conquérir la grande expérience de ses premiers auteurs, dont nous avons cru devoir continuer à suivre la méthode et qui ont été les initiateurs d'une foule d'ouvrages pratiques sur la construction.

L.-A. Barré.

ALPHABET GREC

Majuscules.	Minuscules.	Noms:	Valeurs.
Α	α	alpha	a.
Β	β ϐ	bêta	b.
Γ	γ	gamma	g.
Δ	δ	delta	d.
Ε	ε	epsilon	e.
Ζ	ζ	dzêta	dz.
Η	η	êta	ê.
Θ	θ	thêta	th.
Ι	ι	iota	i.
Κ	κ	kappa	k.
Λ	λ	lambda	l.
Μ	μ	mu	m.
Ν	ν	nu	n.
Ξ	ξ	xi	x.
Ο	ο	omicron	o.
Π	π ϖ	pi	p.
Ρ	ρ	rhô	r.
Σ	σ ς	sigma	s.
Τ	τ	tau	t.
Υ	υ	upsilon	u.
Φ	φ	phi	ph.
Χ	χ	chi	ch (aspiré).
Ψ	ψ	psi	ps.
Ω	ω	oméga	ô.

TABLE ANALYTIQUE DES MATIÈRES

CHAPITRE PREMIER

TRAVAUX PUBLICS. — ENTREPRENEURS. — CLAUSES ET CONDITIONS GÉNÉRALES IMPOSÉES AUX ENTREPRENEURS. — ADJUDICATIONS ET MARCHÉS. — ENTREPRISES.

	Pages.
Travaux publics	1
Travaux départementaux	3
Travaux communaux	3
Régie	4
Entreprise ou marché	4
Concession	4
Marché à forfait ou en bloc	5
Marché sur série de prix	5
Marché dit à l'unité de mesure	5
Pièces contenant les conventions des marchés de travaux publics passées entre l'Etat et les entrepreneurs	5
Clauses et conditions générales imposées aux entrepreneurs des ponts et chaussées	5

CHAPITRE II

MATÉRIAUX EMPLOYÉS DANS LES CONSTRUCTIONS

Granit. — Quartz. — Porphyres	22
Trachytes	25
Basaltes	25
Laves	26
Pierres argileuses	26
Grès	26
Pavés en grès	28
Silex, cailloux, poudingues	29
Meulière	30

Calcaires proprement dits..... 31
Pierres calcaires dures..... 32
Cliquart..... 33
Roche..... 33
Banc franc..... 35
Banc royal..... 36
Pierres calcaires tendres..... 36
Grès bâtard..... 38
Marbres..... 38
Principaux marbres employés en France..... 43
Taille et polissage des marbres..... 44
Prix des marbres..... 45
Provenance des pierres calcaires..... 45
Qualités et défauts de la pierre de taille. — Pierres gélives..... 46
Classification des pierres de construction, d'après la série de la ville de Paris..... 49
Prix moyen des pierres, non compris la taille des surfaces vues. 50
Recherche et essais des pierres. — Résistance à la gelée..... 51
Extraction de la pierre de taille..... 53
Prix du mètre cube de la pierre de taille en carrière..... 55
Moellons..... 56
Terres argileuses..... 57
Briques crues. — Fabrication des briques crues..... 59
Composition de quelques kaolins..... 59
Emploi des briques crues. — Conservation des maçonneries de briques crues..... 60
Briques cuites. — Fabrication des briques. — Moulage. — Cuisson des briques..... 61
Briques-combustibles..... 66
Qualités des briques..... 67
Devis d'une briqueterie mécanique..... 68
Briques en usage. — Classification des briques, d'après leur emploi..... 69
Briques creuses..... 70
Briques creuses cintrées pour arcs..... 72
Briques réfractaires..... 74
Résistance des briques. — Dimensions et prix des briques..... 74
Briques en porcelaine. — Briques en laitier. — Briques de liège. 76
Dimensions normales de briques (de l'Union céramique et chaufournière de France)..... 77
Poteries. — Carreaux..... 78
Chaux. — Chaux grasse. — Chaux maigre. — Chaux hydraulique. — Chaux-ciment ou ciment romain..... 79
Composition de quelques chaux..... 84
Classification des chaux, ciments et pouzzolanes..... 86
Composition des chaux hydrauliques et des ciments à l'état naturel avant la cuisson..... 87
Détermination du degré de durcissement d'une chaux dans l'air et sous l'eau..... 88
Poids du mètre cube de quelques ciments..... 88
Recherches de la chaux hydraulique..... 89

Analyse des pierres calcaires..... 89
Chaux hydraulique artificielle (*deux procédés*)..... 91
Cuisson de la pierre à chaux. — Indices d'une bonne cuisson... 93
Comparaison des procédés de cuisson de la chaux..... 96
Provenance des chaux. — Mesurage, transport et conservation de la chaux..... 96
Extinction de la chaux. — Foisonnement de la chaux..... 98
Degré d'hydraulicité des chaux..... 100
Pouzzolanes. — Arènes. — Pouzzolane artificielle..... 101
Composition chimique des pouzzolanes..... 103
Ciment de vieilles briques ou tuiles..... 104
Ciment romain. — Ciments romains artificiels à prise lente. — Ciments de Portland..... 105
Cahier des charges d'août 1885 pour la fourniture du ciment de Portland aux ports de Calais et Boulogne..... 109
Résistance à la traction des briquettes de ciment pur. 112
Ciment de Vassy..... 115
Composition de quelques ciments d'après Vicat..... 116
Ciment métallique pour réparation de monuments..... 118
Résistance des ciments et des mortiers de ciment..... ... 119
Emploi du ciment frais..... 120
Ciment de calcaires magnésifères..... 120
Ciment de magnésie. — Ciment silico-magnésique..... 121
Travaux en ciment à ossature métallique..... 121
Ciment de laitier. — Fabrication du ciment de laitier..... 122
Fabrication des briques de laitier et de tuyaux en ciment..... 123
Ciment artificiel de schistes..... 124
Mortiers..... 125
Causes de décomposition des mortiers..... 126
Eau employée pour éteindre les chaux et pour fabriquer les mortiers. 127
Sables et arènes pour fabriquer les mortiers..... 128
Sable fabriqué mécaniquement..... 129
Mortier de terre. — Mortier de chaux et sable. — Mortier de chaux, sable et pouzzolanes..... 130
Addition de sucre au mortier..... 132
Composition de mortiers ayant donné de bons résultats..... 133
Fabrication du mortier..... 133
Fabrication du mortier de ciment de tuileaux ou de pouzzolane.. 136
Prix de la fabrication du mortier à Paris..... 136
Mortier de ciment romain. — Composition..... 138
Mortier en ciment de grappier Portland. — Lafarge..... 140
Mortier bâtard..... 141
Gâchage du ciment..... 142
Dureté et cohésion finale des mortiers..... 144
Mortiers à la soude..... 145
Essai des agglomérants et mortiers hydrauliques..... 146
Emploi des mortiers à la mer..... 147
Plâtre. — Variété de pierres à plâtre. — Extraction de la pierre à plâtre..... 148
Cuisson de la pierre à plâtre. — Indices des qualités du plâtre. — Essai du plâtre. — Conservation du plâtre..... 153

Emploi du plâtre. — Gâchage du plâtre..... 155
Cohésion du plâtre..... 157
Action de la chaux, du plâtre et du ciment sur le fer..... 158
Plâtras. — Carreaux et poteries creuses en plâtre. — Plâtre aluné. — Plâtres colorés..... 158
Durcissement des pierres tendres. — Silicatisation..... 161
Fluatation..... 163
Stuc — en chaux — en plâtre. — Plâtre durci..... 164
Blanc en bourre..... 166
Mastics. — Mastic Dihl. — Mastic de limaille..... 167
Lattes. — Bardeaux. — Clous à lattes. — Clous à bateaux. — Rappointis..... 167
Fers. — Fontes. — Aciers. — Cuivre. — Zinc. — Etain. — Plomb..... 169
Poids moyen, en kilogrammes, par mètre carré des feuilles de divers métaux..... 172
Classification des fers du commerce. — Dimensions et prix des fers. — Larges plats. — Fers à double T. — Tôles unies, tôles ondulées. — Ardoises métalliques..... 172
Poids spécifiques ou densités des corps solides..... 177

CHAPITRE III

RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX

Résistance à la traction..... 178
Module d'élasticité de quelques substances..... 179
Effort de rupture par traction..... 180
Poids du mètre cube de différents matériaux employés dans les ouvrages de maçonnerie et charges par centimètre carré, qui écrasent ces matériaux après un temps très court..... 184
Poids du mètre cube de quelques matériaux employés dans la construction..... 187
Stabilité des massifs de maçonnerie..... 188
Cohésion et adhérence des mortiers..... 194
Frottement. — Glissement. — Usure des matériaux..... 194
Porosité des matériaux de construction..... 197
Résistance des solides soumis à la flexion..... 198
Moments d'inertie et modules de section des solides les plus usuels soumis à la flexion..... 200
Solide prismatique encastré par une de ses extrémités, chargé uniformément sur toute sa longueur..... 204
Solive ou poutre encastrée portant à son extrémité libre un poids P et une charge uniforme sur toute sa longueur..... 205
Solive ou poutre reposant sur deux appuis, placés à ses extrémités..... 206
Solive ou poutre reposant sur deux appuis et portant un poids unique placé en un point quelconque..... 208
Solive ou poutre encastrée à ses deux extrémités et chargée uniformément sur toute sa longueur..... 211

Fers laminés à double T (I) employés pour planchers et combles. 212
Tableaux donnant les poids et les modules de section des fers à planchers de diverses usines : Hauts-Fourneaux de Maubeuge, Providence, Montataire, Creusot, Vezin-Aulnoye. 214
Poids des fers ronds par mètre de longueur..... 219
Dimensions et poids des cornières à branches égales et inégales. 220
Dimensions et poids des fers plats..... 221
Résistance des bois à la compression. — Expériences de Rondelet 219
Formule donnant la charge des poteaux en bois à la compression..... 222
Charges pratiques par centimètre carré des poteaux carrés ou rectangulaires (*Formule et tableau*)..... 223
Deux applications se rapportant à la charge des poteaux en bois. 225
Bois ronds soumis à la compression..... 226
Répartition des pressions qu'une poutre ou solive continue exerce sur plusieurs appuis lorsqu'elle est chargée uniformément. — Poutre à deux travées. — Poutre à trois travées..... 226
Résistance des bois à la flexion..... 231
Tableau donnant les charges pratiques uniformes des solives en bois de sections rectangulaires..... 233
Résistance des bois ronds à la flexion..... 234
Applications se rapportant à la charge de flexion d'une solive et d'un plancher en bois 234
Calcul d'un poitrail ou d'une maîtresse poutre portant des solives équidistantes et également chargées..... 237
Poutres continues, à travées égales, chargées uniformément. — Moments fléchissants et pressions sur les appuis..... 242
Résistance des colonnes et des piliers métalliques..... 243
Formules donnant la charge des colonnes pleines en fonte..... 244
Charges des colonnes pleines en fonte par centimètre carré..... 246
Colonnes creuses en fonte (cylindriques)..... 247
Piliers pleins en fonte à base carrée..... 249
Piliers en fonte de forme à double T (I) symétrique, à simple T, cruxiforme et cornière. — Formules..... 250
Colonnes cylindriques pleines en fer. — Formules..... 250
Charge par centimètre carré des colonnes pleines en fer..... 251
Piliers pleins en fer à base carrée ou rectangulaire..... 252
Colonnes creuses en fer (cylindriques)..... 252
Charge par centimètre carré des colonnes creuses en fer..... 253
Piliers en fer laminé en forme de double T (I) symétrique, à simple T ou cruxiforme. — Formules..... 254
Fers à double T (I) pour planchers (Voir l'*errata*, p. XXVIII)..... 254
Tableau donnant la charge de flexion d'un fer à double T pour plancher (Voir l'*errata* p. XXVIII)..... 257
Poutre métallique sans tables, constituée par une âme en tôle et quatre cornières..... 261
Charge des poutres métalliques sans tables..... 262
Fers à simple T employés comme petites solives..... 264
Charges à la flexion des fers à simple T..... 265
Cornières à branches égales..... 266

Charges de flexion des cornières à branches égales..... 268
Résistance à la flexion des cornières à branches inégales..... 270
Poutre en tôle à double T comprenant une âme verticale pleine, deux tables et quatre cornières..... 270
Charge de flexion des poutres en tôle à double T (I)..... 273
Poutres en tôle à treillis, sans âme, comprenant deux tables et quatre cornières..... 275
Charge de flexion des poutres à treillis..... 278
Résumé se rapportant aux charges de flexion des fers à double T, des cornières à branches égales, des poutres métalliques pleines et des poutres à treillis..... 282

APPLICATIONS DES FORMULES DE RÉSISTANCE

Calcul d'un plancher métallique..... 283
Calcul des solives inclinées..... 285
Calcul d'un appentis en bois..... 291
Calcul des éléments d'une ferme en bois..... 294
Calcul d'une poutre armée en bois..... 298
Calcul d'une poutre armée en fer à deux poinçons..... 302
Calcul d'une poutre armée en bois à trois poinçons..... 306
Calcul d'une poutre latice..... 311
Calcul d'un appentis métallique..... 315
Calcul des éléments d'une ferme à la Mansard (*en bois*)..... 319
Calcul d'une ferme en fer (système Shed)..... 323
Charpente en fer à contre-fiches et à tirants..... 329
Calcul d'une poutre triangulaire métallique encastrée dans un mur et portant une marquise..... 333

CHAPITRE IV

OUTILS ET APPAREILS EMPLOYÉS DANS LES TRAVAUX DE BATIMENT

Levier. — Pinces. — Cordages. — Câbles..... 336
Raideur des cordes. — Formules..... 339
Tableau de Morin relatif à la raideur des cordes sur poulies..... 340
Poulie. — Moufle et palan..... 341
Treuil. — Treuil chinois ou différentiel. — Cabestan..... 342
Chèvre. — Chèvre à pied. — Chevrette. — Grue. — Sapine..... 345
Cric. — Brouette. — Construction des brouettes..... 349
Relais. — Civière ou bard. — Camion. — Tombereau. — Wagon. — Wagonnet..... 352
Oiseau. — Coulotte..... 353
Rouleaux ou roules. — Chariots. — Diable. — Binard..... 354
Transport de l'eau..... 355
Chemins de fer démontables pour chantiers..... 356
Outils pour tailler la pierre..... 356
Outillage du compagnon maçon..... 358
Échafauds. — Échelles. — Échafauds volants..... 364

Ordonnance du préfet de police concernant les échafaudages sur la voie publique à Paris..... 370
Prix des bois d'échafaud, à Paris..... 372
Échafauds divers. — Étrésillonnements. — Chevalements..... 375

CHAPITRE V

TERRASSEMENTS

Outils..... 377
Exécution des fouilles ou déblais..... 378
Disposition des ateliers et nombre d'ouvriers..... 379
Déblais de terres ordinaires par dépôts et emprunts..... 380
Prix des terrassements..... 381
Temps nécessaire à l'exécution des déblais..... 382
Quantités moyennes et journalières de déblai d'un terrassier.... 382
Prix des fouilles..... 383
Étrésillonnement des berges..... 383
Fouilles de terres imbibées d'eau. — Épuisements..... 383
Déblais sous l'eau. — Dragage..... 384
Excavateurs..... 384
Extraction des roches. — Extraction par abatage. — Extraction à la poudre..... 385
Dynamite..... 389
Charrue (*employée dans les fouilles*)..... 390
Mine sous-marine..... 390
Enlèvement des terres..... 390
Transport des terres à la brouette..... 391
Transport des terres au camion..... 392
Transport des terres au tombereau..... 392
Transport des terres à la banaste, au couffin et à dos d'âne..... 393
Wagons et wagonnets avec voie portative..... 393
Voie ferrée ordinaire avec wagons de terrassement..... 397
Prix comparés du wagonnet et des wagons pour le transport des déblais..... 401
Comparaison des divers prix de transport des déblais..... 403
Influence des rampes sur les distances de transport des déblais.. 404
Montage des terres..... 405
Remblais, foisonnement et compression..... 406
Fouilles souterraines. — Excavation souterraine dans un terrain de roches..... 408
Excavation souterraine dans un terrain ordinaire, sable, tuf, marne, etc..... 409
Disposition des déblais souterrains..... 412
Ventilation. — Éclairage sous galerie..... 413
Prix des déblais souterrains..... 413
Assèchement des terrains mouillés ou traversés par les eaux.... 414
Nivellement..... 415

CHAPITRE VI

MAÇONNERIES

Maçonnerie de béton..... 417
Proportions de mortier et de cailloux dans les bétons..... 418
Fabrication du béton. — Machine à coffres..... 419
Couloir cylindrique à béton dit *bétonnière*..... 422
Transport du béton..... 424
Mise en œuvre du béton hors de l'eau..... 424
Mise en œuvre du béton sous l'eau..... 425
Béton Treussart. — Béton aggloméré de François Coignet..... 428

MAÇONNERIE DE PIERRE DE TAILLE OU MAÇONNERIE VIVE

Appareils divers..... 431
Joints apparents, refends. — Bossages et vermiculures..... 435
Taille de la pierre..... 437
Temps des tailles (de la pierre)..... 440
Temps nécessaires pour exécuter différents ouvrages de taille de pierre..... 441
Temps employés pour les abatages, évidements, refouillements, etc..... 442
Bardage. — Montage..... 443
Pose de la pierre de taille..... 445
Dépose de la pierre de taille..... 447
Volume de mortier ou de plâtre employé par mètre cube de différentes maçonneries de pierre de taille..... 447
Déchet de la pierre de taille..... 447
Déchet de la pierre dans divers travaux..... 448

MAÇONNERIE DE MOELLONS

Ébousinage des moellons..... 448
Smillage des moellons..... 449
Taille des moellons piqués et d'appareil..... 449
Pose des moellons..... 449
Mortier ou plâtre employé pour les maçonneries de moellons..... 451
Volumes de mortier et de plâtre en poudre employés par mètre cube de différentes maçonneries de moellons..... 451
Temps d'exécution des maçonneries de moellons..... 452

MAÇONNERIE DE MEULIÈRE

Taille de la meulière..... 453
Smillage. — Déchet dû au smillage et au piquage de la meulière. — Nettoyage de la meulière terreuse..... 454
Pose de la meulière. — Temps d'exécution des maçonneries de meulière..... 454

Mortier ou plâtre nécessaire à la pose de la meulière..... 454
Emmétrage des moellons et des meulières..... 454

ROCAILLAGES

Rocaillages ordinaires..... 455
Rocaillage pour enduits..... 455
Rocaillage d'ornementation..... 455
Temps et mortiers nécessaires pour exécuter les rocaillages..... 456

MAÇONNERIE DE BRIQUES

Maçonnerie de briques..... 456
Appareillage..... 457
Pose des briques. — Maçonnerie creuse. — Divers systèmes.... 461
Temps et quantités de matériaux nécessaires pour exécuter divers ouvrages en briques..... 462
Murs en briques. — Moellons. — Décoration obtenue avec des briques..... 464

MAÇONNERIE MIXTE EN PIERRE DE TAILLE ET PETITS MATÉRIAUX

Exécution des maçonneries mixtes et disposition des matériaux. 465
Soubassements et baies dans la maçonnerie de moellons..... 467
Consolidation des maçonneries par des armatures en fer. 469
Prix des pierres de diverses provenances..... 470
Prix des maçonneries..... 472

MAÇONNERIES HOURDÉES EN MORTIER DE CIMENT ROMAIN

Pierres factices en éclats de pierres et de ciment..... 474
Maçonneries de pierrailles et ciment..... 475
Temps et quantités de ciment et de sable nécessaires à l'exécution des principaux ouvrages..... 476

MAÇONNERIE DE PISÉ

Terre convenable à la fabrication du pisé. — Préparation et essai de la terre. — Exécution de la maçonnerie de pisé..... 477
Conservation et consolidation des constructions en pisé..... 478
Constructions en pisé (*rurales et autres*). — Blocs en pisé..... 479
Bauge ou torchis..... 480
Pisé en béton..... 481

ENDUITS EN MORTIERS HYDRAULIQUES

Préparation des surfaces pour l'application des enduits..... 481
Pose des enduits en mortier de chaux..... 482
Pose des enduits en mortier de ciment..... 483
Enduits en mortiers bâtards. — Temps nécessaires à l'exécution des enduits hydrauliques..... 484

REJOINTOIEMENTS

Rejointoiements en mortier de chaux ou de ciment..... 484
Temps nécessaire pour l'exécution de différents rejointoiements.. 486

CHAPITRE VII

OUVRAGES GÉNÉRAUX. — TRACÉ. — IMPLANTATION

Tracé des fouilles. — Fruit des murs..... 486

FONDATIONS

Classification des terrains. — Equilibre du terrain..... 488
Fouilles des terrains..... 490
Reconnaissance du terrain. — Sondages..... 491
Outils de sondage. — Devis des sondes..... 492
Puits pour fondations..... 493
Exécution des fondations hors de l'eau..... 494
Gradins. — Rigoles..... 496
Fondations par piliers isolés..... 497
Fondations en libages. — Fondations en maçonnerie de meulière ou de moellon de roche dure, hourdée en mortier de ciment romain..... 498
Fondations en béton..... 498
Fondations sur piliers..... 499
Consolidation du sol au moyen de pieux en béton ou en mortier. 499
Radier général. — Massifs de fondation en sable mouillé d'un lait de chaux..... 500
Fondation par piles érigées au moyen de puits, dans des terrains mouvants d'argile ou de sable fin et vaseux..... 501
Fondations sur racinaux..... 503
Fondations sur pilotis..... 504
Battage des pieux de fondations..... 505
Sonnette à tiraudes. — Sonnette à déclic..... 506
Prix du battage des pieux..... 510
Enture des pieux..... 510
Pieux à vis. — Frettage des pieux..... 511
Sabotage des pieux. — Recépage des pieux. — Arrachage des pieux..... 512
Fondations sous l'eau : sur pilotis..... 514
Fondations sous l'eau : à l'aide de batardeaux..... 514
Fondations sous l'eau : au moyen d'un caisson en bois..... 514
Fondations sous l'eau : par encaissement..... 515
Fondations tubulaires..... 516
Fondations tubulaires à l'aide du vide..... 516
Fondations tubulaires à l'aide de l'air comprimé..... 517
Fondations sur sols argileux détrempés par les eaux..... 518
Matériaux pour fondations. — Enrochements..... 519
Exécution des travaux sous l'eau..... 519

Drague à la main. — Cloche à plongeur. — Bateau plongeur. — Scaphandre. — Pelle à couler et encaissement à revêtir..... 520
Fondations maritimes en mastic d'asphalte..... 523

MURS. — CONSTRUCTION ET RÉSISTANCE

Dénomination des murs..... 524
Construction des murs. — Murs de face. — Mur de refend. — Mur de clôture. — Contre-mur..... 524
Mur mitoyen (*Législation*)..... 528
Epaisseur des murs. — Formules de Rondelet..... 529
Pans de bois et cloisons. — Appuis isolés..... 532
Epaisseurs courantes des murs suivant leur destination. — Surface occupée par les murs..... 534
Résistance comparée des blocs superposés..... 534
Répartition des pressions sur les joints dans les maçonneries... 535
Poussée des terres. — Murs de soutènement. — Exemples numériques (*solutions graphiques*)..... 539
Recherche graphique du plan de rupture..... 543
Calcul d'un réservoir en maçonnerie..... 544
Solution des murs de terrasse ou de soutènement par le calcul.. 546
Profil des murs des bassins de Passy..... 549
Murs du réservoir de Saint-Cloud..... 550
Tableau donnant les hauteurs et les bases des talus d'excavation. 552
Murs de revêtement..... 553
Transformation d'un profil de revêtement en un autre (d'après Vauban)..... 553
Table donnant les épaisseurs des revêtements pour diverses terres et maçonneries..... 534
Epaisseur des murs en pierres sèches. — Murs consolidés par des contreforts. — Contreforts extérieurs et contreforts intérieurs. 555
Batardeaux en terre..... 561
Batardeaux en maçonnerie..... 562
Méthode empirique pour calculer la poussée horizontale d'un remblai..... 564
Barrages ou digues en maçonnerie..... 564
Tableau des principales dimensions des murs de réservoirs..... 565
Fruit d'un mur de soutènement. — Éperons ou contreforts..... 566
Tableau donnant les épaisseurs des murs de revêtement et des contreforts..... 567

BAIES

Baies. — Fenêtres. — Plate-bande. — Linteaux..... 567
Arc de décharge..... 568
Linteau en pierre soutenu par une barre de fer..... 569
Pose des claveaux formant la partie supérieure d'une fenêtre. — Portes..... 572

VOUTES

Diverses sortes de voûtes..... 573
Matériaux employés pour construire les voûtes..... 578

Choix d'un système de voûtes. — Formes des piles..... 581
Tracés des voûtes en plein cintre et en arc de cercle. — Surbaissement d'une voûte..... 582
Table servant à calculer l'arc d'intrados d'une voûte dont la montée et la distance des pieds-droits sont données..... 583
Tracé des voûtes en anse de panier..... 585
Tableau de Michal donnant les valeurs des rayons des voûtes en anse de panier..... 586
Tableau de Lerouge pour le tracé des anses de panier..... 588
Tracé des voûtes elliptiques..... 589
Pression d'une voûte sur son cintre. — Pâtés pour construction de petites voûtes..... 590
Cintres en bois..... 591
Construction des voûtes..... 592
Cintres en briques..... 592
Cintres en charpentes..... 593
Prix de revient des cintres..... 595
Pose des cintres et tassement des voûtes au décintrement..... 595
Pose des voûtes..... 596
Décintrement des voûtes..... 601
Construction des voûtes sans cintre..... 604
Surface du profil transversal et poids d'une voûte..... 605
Stabilité des voûtes..... 606
Dimensions des voûtes. — Joints de rupture..... 607
Divers cas de rupture d'une voûte..... 608
Épaisseur des voûtes à la clef. — Formules de Perronnet, Déjardin, Léveillé, Léonce Reynaud..... 612
Épaisseur des pieds-droits ou culées des diverses voûtes..... 614
Décoration des voûtes au moyen de caissons et de nervures..... 619
Voûtes légères en briques et en poterie..... 620
Tableau donnant les épaisseurs des voûtes minces. — Voûtes peu chargées..... 621
Voûtes minces pour planchers incombustibles..... 622
Poussée des voûtes. — Méthode graphique de Méry pour calculer et vérifier la stabilité des voûtes..... 623
Calcul d'une voûte en maçonnerie. — Exemple numérique et solution graphique..... 625
Exemple de calcul de deux voûtes d'ouvertures différentes..... 631
Profil d'équilibre d'une voûte d'après Déjardin..... 633
Tableau donnant les éléments numériques pour calculer les profils des voûtes à intrados circulaire..... 636
Poussée horizontale des voûtes..... 638
Valeur et direction de la pression effective en un point d'une voûte. — Tracé de la courbe des pressions (voir p. 624)..... 639
Table pour le tracé des courbes de pression dans les voûtes en plein cintre..... 641
Ouverture et hauteur limites des voûtes et pieds-droits..... 642
Table pour l'établissement des voûtes en plein cintre. — Épaisseurs de leurs pieds-droits..... 645
Table donnant l'épaisseur des voûtes en arc de cercle de 60°..... 646

DE QUELQUES VOUTES D'UNE ESPÈCE PARTICULIÈRE

Dômes. — Profils des dômes 646
Pieds-droits des dômes 650
Voûtes en arc de cloître et voûtes d'arête. — Exemple numérique 651
Mesurage des voûtes en arc de cloître et des voûtes d'arête (*surfaces et volumes*) 654

VOUTES BIAISES

Voûtes biaises. — Poussée au vide 659
Biais passé ou corne de vache 661
Voûtes biaises formées d'une série de voûtes droites 663
Appareil orthogonal parallèle 664
Tracé géométrique des projections, rabattements et développements des différentes lignes d'appareils visibles sur la douelle. 665
Équations des développements de la courbe de tête et des trajectoires d'une voûte biaise 669
Tableau numérique de M. Lefort pour le tracé des épures des voûtes biaises 673
Voûtes en arc de cercle. — Épure 675
Voûtes en anse de panier 676
Appareil hélicoïdal, ou appareil anglais 677
Appareil orthogonal convergent 678
Substitution de paraboles aux trajectoires orthogonales dans l'appareil convergent 682
Exécution des voûtes biaises 687
Emploi du mortier de ciment romain dans les voûtes biaises.... 689
Arcs-boutants 690
Ouvertures dans les voûtes pour escalier, monte-charge, etc..... 691
Expériences sur la résistance des voûtes par l'Association autrichienne des ingénieurs et architectes 691

CHAPITRE VIII

ARCHITECTURE PROPREMENT DITE ET GROS OUVRAGES

Fondations. — Tracé des fouilles 693
Exemples de balustrades, de corniches, de fosse, etc 694
Fosses d'aisances (*Ordonnance de police*) 697
Dispositions prescrites par l'Administration municipale pour l'exécution des fosses d'aisances dans Paris 702
Réglementation de la construction et de l'entretien de branchements particuliers d'égouts 704
Caves. — Fondations de caves 707
Pénétration dans les voûtes de caves. — Étanchement des caves 710
Humidité dans les logements. — Rez-de-chaussée, leur construction 712

Étages supérieurs..... 715
Tuyaux de cheminées..... 715
Incendies. — Construction de cheminées. — Ordonnance de police de 1897 concernant les foyers fixes ou mobiles..... 717
Sécurité des habitants (*Ordonnance de police*)..... 725
Couronnements des murs. — Murs dosserets. — Entablement.... 726
Règlement sur les saillies des murs, permises à Paris (*Décret du 22 juillet* 1882)..... 728
Tableau des dimensions des saillies sur la voie publique, à Paris. 730
Arrêté préfectoral concernant les permissions de construire..... 737
Percement des baies..... 744

DIMENSIONS DES DIFFÉRENTES PARTIES D'UN ÉDIFICE

Largeur de la façade d'un édifice. — Règles de composition..... 745
Hauteur des maisons. — Hauteur des étages. — Combles et lucarnes. — Dimensions des cours et courettes (*Décr. de* 1884). 747
Logements insalubres (*Décret*)..... 751
Permission de construire ou de modifier les murs de face sur la voie publique..... 753
Division de la hauteur d'un bâtiment. — Hauteur des étages.... 753
Arcades..... 753
Frontons. — Portes et croisées..... 754
Dimensions des portes et croisées. — Hauteur des appuis..... 756
Superficie des différentes pièces qui composent un appartement. 757
Proportions des cheminées, suivant les dimensions des pièces où elles se trouvent..... 758
Escaliers. — Proportions à observer..... 758
Rapport des pleins aux vides dans la distribution d'un appartement..... 759
Combles à la Mansard (proportions)..... 760
Plans d'appartement..... 760
Magasin à blé..... 762

CHAPITRE IX

TRAVAUX EN PLATRE OU LÉGERS OUVRAGES

Mode de détermination du prix des légers ouvrages..... 762
Lattis jointifs et espacés..... 763
Hourdis de pans de bois, cloisons, etc..... 763
Augets plats ou cintrés..... 764
Aire en plâtre. — Bande de trémie..... 766
Renformis. — Crépis en plâtre..... 769
Enduits en plâtre..... 770
Ravalement..... 772
Enduits colorés. — Crépis mouchetés..... 772
Prix des enduits..... 773
Recouvrement de pièces de charpente..... 773
Pigeonnage en plâtre..... 773

Tuyaux de cheminées 774
Couronnement des cheminées 775
Tuyaux de cheminées établis dans l'épaisseur des murs 776
Cheminées d'usines 777
Ravalement des tableaux et embrasements des portes et croisées. 779
Planchers : Planchers en plâtre. — Planchers hourdés pleins. — Planchers creux 782
Plafonds sur hourdis pleins, sur lattis jointifs ou sur augets plats ou cintrés 783
Matériaux et temps nécessaires à l'exécution d'un mètre carré de plafond 784
Entrevues. — Scellement des lambourdes 784
Pans de bois. — Cloisons 785
Jouées de lucarnes 787
Prix des solins et des trous de scellements 787
Moulures en plâtre 788
Saillies-masses 788
Corniches droites d'entablements. — Mode d'exécution des corniches 788
Corniches droites d'attiques, de frontons droits, de chambranles, etc. 792
Corniches droites de plafonds 793
Corniches circulaires pour archivoltes, arcs-doubleaux, plafonds, etc. — Mode d'exécution 795
Moulures à courbure elliptique 797
Tracé de l'ellipse par points, au moyen d'une règle. — Compas à ellipse 798
Ressauts dans les moulures. — Coupage des moulures à la main. 799
Raccords d'angles de vieilles corniches 800
Joints et refends en plâtre 803
Cheminées, jambages, contre-cœurs, pose de chambranles 803
Cheminées de cuisine 805
Fours à cuire le pain 805
Sièges d'aisances en maçonnerie 806
Solins et calfeutrement 806
Réparations. — Ravalements, rejointoiements de vieux parements, rétablissement de corniches 807
Carrelage 807

CHAPITRE X

CHARPENTE. — MENUISERIE. — PLANCHERS. — PAVAGES. — COMBLES. — ESCALIERS

Bois. — Qualités des principaux bois de construction 809
Dimensions des bois équarris du commerce 810
Prix des bois de charpente dans Paris, compris droits d'octroi.. 812
Pans de bois. — Dénomination des éléments 814
Exemple des proportions des éléments d'un pan de bois (Emy).. 818
Pans de bois avec remplissage en briques. — Clôtures en bois. — Cloisons 819
Prix des hourdis pour cloisons 821

Murs en bois à double paroi 821
Pans de fer..... 822
Points d'appui, supports, poitrails..... 822
Exemple de pan de fer. — Assemblage de poteaux avec une sablière..... 823
Exemples d'assemblages des colonnes en fonte avec des filets ou poitrails métalliques 827
Assemblages des bois 831
Assemblages pour le renforcement des bois de charpente..... 833
Divers assemblages des bois 837
Assemblages mixtes (*fer et bois*). — Frettes. — Chapeaux pour poteaux en bois..... 843
Fenêtres, leurs assemblages. — Jets d'eau..... 843
Impostes. — Portes-croisées. — Volets. — Persiennes..... 846
Portes d'intérieur 848
Portes cochères..... 849
Bow-window 850
Lambris..... 851
Prix de divers ouvrages en bois..... 852
Planchers en bois. — Maîtresses-poutres..... 852
Enchevêtrure. — Exemples d'assemblage des poutres et des solives en bois..... 857
Chaînage 860
Poids des matériaux composant un plancher..... 862
Poutres armées en bois. — Poutre mixte (*bois et fer*)..... 862
Poutre américaine en bois..... 863
Plancher en fer..... 864
Exemples d'assemblages de planchers métalliques 865
Exemple d'une poutre métallique à treillis..... 867
Entretoises disposées pour planchers voûtés en briques..... 868
Disposition des solives métalliques en face des baies..... 871
Calcul des planchers. — Charges par mètre carré..... 873
Poids et prix par mètre carré de planchers métalliques..... 874
Planchers en acier 875
Hourdis de planchers, aires, enduits de plafond. — Lambourdage sur bitume 875
Exemples de hourdis en bois, en briques pleines, creuses, hourdis en carreaux creux en plâtre. — Hourdis de liège..... 877
Planchers en verre. — Dalles quadrillées. — Pavés en verre. — Coton minéral..... 882
Plancher en fer et ciment 883
Poutres mixtes en fer et en bois..... 885
Parquets. — Procédés pour durcir le bois et pour le teindre en rouge, en jaune et en noir 886
Prix du mètre carré de différents parquets..... 888
Parquets posés sans clous apparents (système Guérin) 888
Parquets en caoutchouc 888
Combles 889
Exemples d'appentis et de combles en bois..... 893
Comble en bois à grande portée..... 896
Proportions des éléments des combles..... 897

Combles en fer. — Comble Polonceau. — Comble à la Mansard.. 898
Exemples de combles à grande portée..... 901
Comble système Shed..... 904
Comble Shed (système Polonceau)..... 905
Comble Emy (en bois)..... 909
Proportions des éléments d'un comble métallique (portée de 6 à 12 mètres)..... 910
Comble pour flèche..... 911
Effet du vent sur les combles..... 911
Comble Pombla. — Comble Baudrit..... 912
Equarrissages des bois pour combles de 9 à 24 mètres..... 913
Poids des matériaux le plus en usage dans les toitures et charges des charpentes..... 913
Pente des toitures..... 914
Lucarne en arc de décharge. — Appentis à la Mansard en fer.... 916
Comble en fer avec tirant et aiguille pendante (portée, 10 mètres). 917
Ferme métallique avec lanterne (portée 16m,80)..... 919
Marquise en fer à simple T..... 923
Charpente Chaudy, avec tirant général en partie intérieur et extérieur..... 923
Escaliers en bois..... 916
Escalier en fer avec marches et contre-marches en fer..... 929
Escalier à limon en fer (pour usines)..... 930
Escalier en fer avec marches et contre-marches en bois..... 930
Escalier à l'anglaise à limon découpé en crémaillère (marches en bois, contre-marches en tôle, sous-marches en fers plats).. 930
Escaliers à limons superposés..... 931
Escalier droit porté sur voûte en berceau incliné..... 932
Escalier sur voûte en arc rampant..... 932
Escalier sur demi-voûte en descente et trompe conique..... 932
Balancement des marches..... 935
Perrons..... 937

CHAPITRE XI

SERRURERIE, PAVAGE, COUVERTURE

Serrurerie. — Divers objets de serrurerie. — Persiennes et menuiserie métalliques..... 939
Prix de divers objets en fonte courants dans la construction..... 944
Dallage, carrelage, pavage..... 944
Carrelages et pavages céramiques..... 945
Dallage en marbrerie..... 947
Pavage en briques..... 947
Pavage en liège..... 948
Asphaltes et bitumes..... 948
Pavés d'asphalte comprimé..... 951
Pavage en pierre et grès..... 952
Prix et dimensions des pavés en grès de diverses provenances... 953
Empierrement..... 954

Pavage en bois 955
Trottoirs 956
Entrées charretières 958

CHAPITRE XI

COUVERTURE

Tuiles. — Diverses tuiles 959
Prix des tuiles 963
Ardoises. — Tableau des dimensions et prix des ardoises 966
Voliges à ardoises 968
Pose des ardoises 969
Couverture en bardeaux 971
Plomb. — Cuivre. — Tôle de fer 971
Zinc 975
Verre. — Carton-pierre 977
Ciment pour terrasse 977
Ciment végétal 979
Gouttières (*Ordonnance de police*) 979
Couverture en papier volcanisé 979

CHAPITRE XII

CHAUFFAGE ET VENTILATION

Cheminée 981
Marbrerie des cheminées 982
Tuyaux de cheminées 983
Souches de cheminées 985
Proportions de tuyaux de cheminées et mitres de maisons particulières, suivant la capacité des locaux à chauffer et l'épaisseur des murs 986
Ventilation 988
Éclairage au gaz 989

CHAPITRE XIII

PEINTURE ET VITRERIE

Peinture à la colle 991
Peinture à l'huile 992
Mélanges des couleurs pour composer les teintes 994
Papiers peints. — Linoléum 996
Vitrerie 996

Prix des glaces de Saint-Gobain..... 997
Mastics..... 998

CHAPITRE XIV

HYDRAULIQUE, ASSAINISSEMENT, TUYAUTERIE

Conduites d'eau..... 998
Loi relative à l'assainissement de Paris et de la Seine..... 998
Arrêté concernant l'écoulement direct à l'égout (24 décembre 1897). 1000
Cabinets d'aisances..... 1001
Prix de divers appareils sanitaires..... 1001
Maison assainie et canalisée par le système du tout à l'égout.... 1002
Tuyaux en sidéro-ciment de M. J. Bordenave..... 1003

CONSTRUCTIONS DIVERSES ET RURALES

Salles de spectacle..... 1006
Écuries..... 1007
Porcheries..... 1010
Etables ou vacheries..... 1011
Bergeries..... 1013
Laiterie et colombier..... 1015
Poulaillers..... 1015
Granges..... 1015
Fenils..... 1016
Boulangeries et fours..... 1016
Fourneaux potagers..... 1016
Fours à cuire le pain..... 1016
Boutiques..... 1017
Constructions légères..... 1017
Constructions démontables..... 1017

CHAPITRE XV

RÈGLEMENTS ET DOCUMENTS DIVERS

Série des prix..... 1018
Devis..... 1018
Honoraires des architectes..... 1019
Honoraires des métreurs..... 1021
Réparations locatives..... 1022
Journées (prix ou règlement à l'heure payables à l'entrepreneur)..... 1023
Démolitions (prix)..... 1025
Autorisation de démolir..... 1025

Cahier des charges imposé aux entrepreneurs du service municipal de Paris, en ce qui concerne le mode d'exécution des travaux (25 *juillet* 1879).
Ces travaux comprenant :
Les terrassements et transports ;
Les pavages et empierrements, trottoirs en granit, en bitume. — Les chaussées en asphalte ;
Les diverses maçonneries ;
La charpente, la menuiserie, la serrurerie, les fontes, la peinture et le goudronnage..... 1025
Prix élémentaires payés par l'entrepreneur, à Paris..... 1063
Évaluation et prix des légers ouvrages à Paris..... 1063
Table des matières..... IX
Table alphabétique..... XXIX

ERRATA

Page 256 : La formule (4) doit être remplacée par :

$$\frac{I}{n} = 0{,}303h.S,$$

et plus bas la formule :

$$\frac{I}{n} = 0{,}30\,\frac{7.800}{F}\,h$$

doit être remplacée par :

$$\frac{I}{n} = \frac{0{,}303Fh}{7.800}.$$

Page 259 : Il faut renverser la conclusion et lire : En appliquant la formule de la page 257 à un fer larges ailes, il faut diminuer le poids du fer de 10 à 15 0/0 et augmenter de 10 à 15 0/0 la charge calculée par ladite formule.

TABLE ALPHABÉTIQUE DES MATIÈRES

NOTA. — *Les numéros désignent les pages*

A

Abatage des roches, 385.
— des terres, 379.
— des pierres, 438, 441.
Abat-jour, 846.
Aciers, 170.
— (feuilles d'), 172.
— (résistance), 179, 182.
— pour planchers, 875.
Adjudications, 4, 5, 15, 17, 19.
Adhérence des mortiers, 194.
Aération (Voir *Ventilation*).
Agglomérants (essais des), 146.
Aiguilles des fermes, 323, 328, 898, 901, 902, 905, 917.
Air comprimé (fondations à l'), 517.
Air nécessaire à la respiration, 989.
Aire en plâtre, 766, 781, 862, 875, 1043.
Aisselier, 891.
Albâtres, 40, 43, 150.
Alignements, 737.
Allèges, 524, 568.
Ancrage, 470, 569, 859, 860.
Ancres, 861.
Ane (transport à dos d'), 393.
Angle des murs, 434, 437, 459, 466.
Angle de frottement des terrains, 489.
Angle (cueillies d'), 768.
— (raccords d'), 800.
Anse de panier (voûtes en), 573, 585 à 589, 601, 676.
Antichambres, 757, 760.
Appareils des briques, 457.
— des pierres, 431, 433 à 435.
— des moellons, 449.
— des voûtes, 600.
— orthogonal parallèle des voûtes biaises, 664.
Appareil orthogonal convergent, 678, 682.
— hélicoïdal de voûtes biaises, 677.
— parabolique, 682.
Appartements (plans d'), 532, 759 à 761.
Appentis, 890, 893, 915.
— calcul), 291, 315.
Appuis (charges sur les), 226 à 231, 291.
— isolés, 533.
— de fenêtres, 568, 730, 756, 844.
Aqueducs, 475, 738, 741.
Arbalétriers en bois, 840, 891, 897, 908, 913.
Arbalétrier en bois (calcul), 293, 294, 321.
— en fer, 910, 918 à 922.
— en fer (calcul), 316, 326, 331, 335.
Arcades, 753, 754, 756.
Arcs, 573, 575.
— de décharge, 568, 651.
— de cloître (voûtes en), 577, 601.
Arcs-boutants, 689, 690.
— doubleaux, 578, 619, 620, 795.
Architecte (honoraires), 1019.
— (responsabilité), 1021.
Archivoltes, 795.
Ardoises (couverture en), 913, 965 à 971.
Ardoises métalliques, 176.
Area, 712.
Arêtes, 101, 102, 128.
Arêtes en maçonnerie, 768.
— des murs, 437.
— (voûtes d'), 576, 651.
Arêtes ou arêtiers, 889, 892, 964, 972.
Argile, 57.
Arkoses, 953.
Armature de bois, 836, 842, 862.
Armatures des maçonneries, 469.
— du ciment, 883.
Arrachage des pieux, 513.
Arrière-voussure, 690.
Asphaltes, 948.
— (béton d'), 419.
— (fondations en), 523.
— (plaques d'), 713.
— pour chaussées, 949.
— (couverture en), 977.
Assainissement, 999.
Assèchement des terrains, 414.
Assemblage des bois, 830 à 842.
— indéformable, 373, 374.
— mixtes, 840 à 842.
— des pièces de fermes, 839 à 842.

Assemblage des pièces de planchers en bois, 852 à 860.
— des pièces de planchers en fer, 864 à 873.
Assise des pierres, 432.
Astragale, 696.
Ateliers de terrassiers (disposition des), 379.
Atre, 722, 981.
Attachements, 11, 1018, 1026.
Attique, 731, 792.
Auges, 142, 358, 1011.
Augets, 764, 782, 876, 878.
Autorisations de voirie, 737, 743.
Avant-métré, 15.

B

Badigeon, 992, 1058.
Baguette, 695, 788.
Baies, 467, 487, 467, 714, 740, 745, 843.
Baies (percement de), 744.
Baignoire, 1002.
Bains, 1016.
Bajoyers, 550.
Balancement de marches, 935.
Balcon, 732, 755, 944.
Balèvres, 445.
Baliveaux, 364.
Balustrades en brique, 464.
— en pierre, 694.
— en fonte, 944.
Banaste, 393.
Bancs, 729.
Banc franc, 35, 49.
Banc royal, 36, 50.
Banches, 477.
Bande, 696.
Bande de trémie, 716, 766, 860.
Bandeaux, 465, 731.
Bannes, 735.
Banquettes (fouilles en), 390, 490.
Barbacanes, 566, 1008.
Bard, 352.
Bardage, 443.
Bardeaux (bois), 168, 372.
Bardeaux (couverture en), 913, 971, 1042.
Bardeaux en tuiles pour planchers, 879.
Barrages, 564.
Barrage-réservoir (profil), 193.
Barre à mine, 386.
Barres d'appui, 852, 944.
Barres de treillis (calcul), 280.
Barrières provisoires, 728.
Basalte, 25.
Bassins (murs de), 549.
Bastaing, 811.
Batardeaux, 514, 561, 562.
Bateau plongeur, 521.
Bâtiments civils (services des), 2.
Battage de pieux de fondation, 505, 510.
Battants, 810, 845, 849, 1051.
Bauge, 480.
Bec-de-corbin, 695.
Bêche, 377.
Benne, 406.
Berceau (voûtes en), 574, 576, 578.
Berges (étrésillonnement des), 374, 383.
Bergeries, 1013.
Berme, 554.
Besace (pierres en), 434.
Bétons, 131, 419, 428, 481, 1039.
— agglomérés, 429.
— (résistance des), 185, 189, 190, 192.
— (maçonnerie de), 417.
— (fabrication), 419.
— (fondations en), 498.
— (hourdis en), 877.
— (transport), 424.
— (mise en œuvre), 424.
— (sous l'eau), 425.
— (prix des), 429.
— (d'asphalte), 523.
— (de liège), 881.
Bétonnière, 422.
Biais passé, 661.
Bicoque, 346.
Bielles, 824, 898, 901, 905, 912.
Bielles (calcul des), 299, 305, 310, 332.
Binard, 354.
Bitume, 948.
Bitume sous parquet, 887.
Blanc en bourre, 166.
— de zinc, 993, 995.
Blindage des puits, 409.
Blocage, 450, 452, 467.
Blochet, 892.
Blocs superposés (résistance des), 534.
Bois (propriétés des), 808 à 810, 1044.
— (dimensions et prix), 810 à 814.
— (résistance des), 179 à 181, 219, 231.
— d'échafaud (prix des), 372.
Bois de fil (assemblage à), 833.
Boisseaux de cheminées, 78, 719, 725, 984, 987.
Boîte d'assemblage de pan de fer, 822, 864.
Boîtes de décintrement, 603.
Bondes siphoïdes, 1003.
Bordereau des prix, 14.
Bordures de trottoir, 24.
Bornes, 729.
Bossages, 436.
Bouchardc, 356 à 358.
Bouches de chaleur, 721.
— d'incendie, 999.
— d'égout, 24, 703.
Boulangeries, 722, 1016.
Boulins, 337, 343, 364, 372.
Boulons, 470.
Bouloyée, 423.
Bourriquet, 406.
Bourroir, 386.
Boutiques, 1017.
Boutisses, 432, 458, 460.

Bow-window, 850.
Branchement d'égout particulier, 704.
— de gaz, 989.
— d'eau, 999.
Brèches, 38, 41, 43.
Briques circulaires et cintrées, 71, 73, 76, 983.
— combustibles, 66.
— creuses, 70 à 73, 75, 463, 877.
Briques crues, 59.
Briques cuites, 60 et suivantes.
— en laitier, 76.
— légère, 73.
— de liège, 76.
— en porcelaine, 76.
— réfractaires, 61, 74, 75.
— moellons, 464.
— (fabrication), 61 à 66.
— (qualités), 67.
— (classification), 69.
— (résistance), 74, 77, 182.
— et poids, 185, 187.
— (dimensions et prix), 75.
— (dimensions normales), 77.
— (maçonnerie de), 456 à 465, 468, 472, 1037.
— (murs en), 533.
— (pose des), 461.
— (temps et matériaux employés pour ouvrages en), 462.
— (décoration avec des), 464.
— pour planchers, 781.
— (Voûtes en), 628, 691, 877.
Briques en grès, 945.
— pour carrelage et pavage, 947.
Briqueterie (devis), 68.
Brisis, 320, 891, 897, 899, 916.
Broches, 486, 708.
Brouettes, 350, 391, 397, 403, 419.

C

Cabestan, 344.
Cabinets d'aisances, 1000.
Câbles, 338.
Cage d'escalier, 916.
Cahier des charges, 5, 14, 15, 1025.
— pour une fourniture de ciment, 109.
Cahier des clauses et conditions générales, 5.
Caillasse, 30.
Cailloux, 29, 418.
Caissons (fondations par), 514, 517.
— des voûtes, 619.
Calcaires (pierres), 30 à 38, 45 à 56.
— (analyse des), 88.
— (résistance), 182, 184.
Calcination de la pierre à chaux, 81, 94.
Calfeutrement, 806.
Calibre de maçon, 789.
Calorifères, 721.
Camion, 352, 392, 403.
Caniveaux, 24.
Cannelures, 696.
Caoutchouc (parquets en), 888.
Carbonyle, 810.
Carillon, 868.
Carreaux en terre cuite, 79, 807, 945.
— de faïence, 945.
— de plâtre, 159, 187, 786, 821, 878.
— (pierres), 432.
Carrelage, 807, 944, 1043.
— en ciment, 952.
Carrières, 8, 53, 56, 152.
Carrotins, 433.
Carton-pierre, 977.
Cautionnement, 6, 15, 19.
Caves, 697, 707, 753.
— (murs de), 533.
— (voûtes de), 579.
Cavet, 695, 788.
Centre de gravité des voussoirs, 610.
Céramique, 945.
Céruse, 993.
Certificats de capacité, 5.
Chaînage, 860.
Chaînes en pierre, 437, 445, 465, 469, 498, 730.
Chambranles, 573, 730, 733, 745, 792, 803, 849, 850, 982, 1052.
Chambres à coucher, 757, 760.
Chanfrein, 696.
Chanlatte, 960.
Chantignoles, 892.
Chapeaux, 375, 504, 843.
Chaperons, 526, 964.
Chapiteaux, 731, 826, 829.
Charges des charpentes, 913.
— de rupture des matériaux, 180 à 186, 219.
Charges des solives ou poutres, 205 et suiv., 222 et suiv., 232 et suiv.; 255 et suiv.
Charges des solives ou poutres sur leurs appuis, 226, 291.
Charges égales et équidistantes, 238, 242.
Charges de colonnes en fer, 251, 253.
— des colonnes en fonte, 246, 248.
— des fers à double T, 255, 282 et suiv.
— des fers à simple T, 266.
— des fermes, 295.
— des planchers, 284, 872.
— des terrains, 488.
Chariots, 354, 373.
Charnières, 942.
Charpente en bois, 294, 319, 808, 889, 1044.
— en fer, 316, 324, 329, 897.
— (charges des), 913.
— (Voir *Fermes et combles*).
Charrue (fouilles à la), 390.
Chasses d'eau, 1000.
— (réservoirs de), 1001.
Châssis de fenêtre, 845, 1046, 1050.
— à tabatière, 757, 980.
Chauffage (appareils de), 717, 981, 986.
Chaussées en asphalte, 949, 1036.
— pavées, 952, 957, 1030.
— en bois, 955.

Chaussées empierrées, 954, 957, 1030.
Chaux, 79 et suiv.
— (classification et composition), 84 à 88, 100.
Chaux-ciment, 84.
— grasse, 81, 84, 86.
— hydraulique, 82, 85, 86, 89, 100, 1038.
— hydraulique artificielle, 91.
— limites, 85, 86.
— maigre, 82, 84, 86.
— (degrés de durcissement), 88.
— (conservation), 97.
— (cuisson), 91 à 96.
— (provenance), 96.
— (mesurage et transport), 96.
— (extinction), 98.
— (foisonnement), 100.
— (résistance et poids), 183, 187.
— (enduits de), 482.
— (Voir *Mortiers*).
Chemins de fer pour chantiers, 356.
— truc, 348.
Cheminées, 758, 773, 803, 981, 986.
— (ordinaire, leur construction), 717.
— (tuyaux de), 715, 774, 776, 983, 986.
— d'usines, 720, 777.
— de cuisine, 805.
Chêne, 808, 1044.
Chêneaux, 960, 980, 981.
Cheval (transport par), 392, 397.
Chevalements, 375, 411.
Chevêtres, 716, 853, 856, 869, 871.
Chevillettes, 363.
Chèvres, 345, 346.
Chevrette, 346.
Chevrons (dimensions), 810.
— (calcul des), 291, 316.
— 841, 892, 897, 908, 909, 913, 924.
Ciments (poids), 88.
— romains, 84, 86, 88, 1005, 1038.
— Portland, 88, 106, 109, 1038.
— de Vassy, 115.
— de vieilles briques ou tuiles, 104.
— métallique, 118.
— de fontainier, 109.
— de calcaires magnésifères, 120.
— de grappier, 140.
— de magnésie, 121.
— silico-magnésique, 121.
— de laitier, 121 à 124.
— de schistes, 124.
— (Voir *Mortiers*).
— (essais du), 109, 120.
— (emploi du), 144.
— (résistance), 112, 119, 124, 183, 190.
— (composition), 116.
— frais (emploi), 120.
— (gâchage du), 142.
Ciment (maçonnerie hourdée en), 474, 476.
— hourdant les voûtes, 598.
— (enduits du), 483.
— (terrasses en), 977.
Ciment armé (travaux en), 121, 883, 1003.
Cintres de voûtes, 411, 594, 687.
— (pression d'une voûte sur son), 590.
— en briques, 592.
— en charpente, 593.
— (prix des), 594.
— (pose des), 595.
Cintrage, 870.
Ciseau, 356.
Ciselure, 439.
Civière, 352.
Classification des pierres de construction, 49.
Clauses imposées aux entrepreneurs, 5.
Claveaux en briques, 76.
— des baies, 571.
— (pose des), 572.
Clefs de joints, 842.
— de voûte, 574, 612.
— pendantes, 580.
Cliquart, 33.
Cloche à plongeur, 520.
Cloisons en briques, 457, 462, 787, 862, 874.
— en bois, 533, 785, 815, 820, 874, 1043, 1047.
— (hourdis de), 764.
— en ciment armé, 884.
— en plâtre, 786, 821.
Clôtures (épaisseurs des), 738.
— (murs de), 526, 530.
— en bois, 819.
Clous à bateaux, 169.
Clous à lattes, 169, 968.
Coaltar (béton de), 419.
Coefficient d'élasticité, 179, 180, 192.
— de frottement, 195, 197.
— de perméabilité, 197.
— d'usure, 197.
— de sécurité, 199, 246.
— de stabilité des murs, 558.
Coffrages, 475.
Coffres de cheminées, 726, 773, 777.
Cohésion des mortiers, 144, 194.
— du plâtre, 157.
Coins de décintrement, 602.
Collecteurs, 703.
Colombages, 480.
Colombier, 1015.
Colonnes en fer, 250 à 254, 826.
— en fonte, 826, 944.
— en fonte, pleines (résistance), 242, 244.
— en fonte, creuses, 247, 826.
— en pierre, 694, 730, 733, 754.
Combles (décret de 1884), 749.
— en bois (calcul), 294.
— (proportions), 760.
— (Voir *Fermes*).
Combles en bois, 889, 913.
— en fer, 897, 910.
Compas à ellipse, 798.
Compétence, 21.
Composantes longitudinales des poutres, 290.
Composition (règles de), 745.

Compression (résistance à la), 191, 219, 242, 287, 295.
Compression des remblais, 406.
Concession, 4.
Conditions imposées aux entrepreneurs, 5, 1025.
Conduits de fumée, 718, 724, 729, 984.
Conduites d'eau, 742, 998.
— de gaz, 743.
— en fonte, 1055.
Conflans, 37.
Congé, 788.
Consoles, 731, 732, 827.
Consolidation des maçonneries, 469.
— du sol, 499.
Constructions rurales, 1007.
— légères, 1017.
— démontables, 1017.
Contestations, 14.
Contre-clef, 597.
Contre-cœur, 719, 720, 724, 803, 981.
Contre-fiches d'une ferme (calcul), 294, 323, 329.
Contre-fiches 828, 891, 897, 899, 901, 902, 913, 925.
Contreforts des murs, 555 à 561, 566.
Contre-mur, 527, 709.
Contrevents, 729, 1048.
Corbeaux en fer ou en pierre, 854, 859, 869.
Cordages, 337, 364.
Cordeaux, 483.
Cordes, 338.
— à nœuds, 369.
— raideur des), 339.
Cordeaux, 339.
Coroadis, 1014.
Corne de vache, 661.
Corniches en briques, 455.
— en pierre, 694, 727, 729, 731, 733, 746, 788 à 796, 800.
Corniches en bois, 1052.
Cornières (fers), 220, 250, 261, 275, 865, 867.
Cornieres (résistance), 266 à 270, 282.
Corroyage de la terre à brique, 61.
Côte de vache, 869.
Coton minéral, 883.
Couchis, 375, 591.
Couffin, 393.
Coulage du béton, 425 à 428.
Couleurs, 991, 994, 1058.
— données au plâtre, 160.
Coulis, 156, 446.
Couloir-caisse à béton, 421.
Coulotte, 353.
Coupage des moulures à la main, 799.
Courbe des pressions des voûtes, 624, 639, 649.
Courbe d'extrados, 633.
Couronnement des cheminées, 775.
Cours des murs, 726.
— et courettes, 750, 760.
Couvertures, 911, 957 à 981.
— en chaume, 721.
— en ciment, 977.
— en tuiles, 959.
— en ardoises, 965.
— en bardeaux, 971.
— en plomb, 971.
— en cuivre, 972.
— en fer, 975.
— en zinc, 975.
Couvre-joint, 865, 971, 974.
Coyau, 892.
Coyer, 889.
Crampons, 435, 469.
Crèches, 1014.
Crémaillère du cric, 349.
— (assemblage à), 838, 842, 856.
— (escalier à), 925, 929.
Cremones, 942.
Crénelures (assemblage par), 838, 842.
Crépis, 739, 769, 1041.
— mouchetés, 772.
Cric, 349.
Croisées, 568, 736, 755, 779, 843, 1048.
— en fer, 943.
Croisillons (poutres à), 314, 864, 869.
Crossettes, 571, 572, 574, 688.
Croupes, 889, 897.
Cuillies d'angle, 768.
Cuillers, 386, 492.
Cuisson des briques, 64.
— de la chaux, 81, 91, 93, 95.
— de la pierre à plâtre, 153.
Cuivre, 170.
— (feuilles de), 172.
— (couverture en), 913, 972.
Cul-de-four, 575, 576.
Culées, 580, 614, 645.
Cunettes des égouts, 703.
Cuvettes des sièges d'aisances, 866, 1001.
— pour l'écoulement des eaux, 729, 737.
Cymaise, 696, 788, 851.

D

Dallage, 944, 1035.
Dalles en pierres, 24, 447, 472, 1033.
Dalles de verre, 882.
Déblais, 378, 380, 1027.
— (cubes des), 381, 382, 407.
— (temps d'exécution), 382.
— sous l'eau, 384.
— souterrains, 492.
Décharges des fermes et poutres, 317, 814, 828.
Déchet de la pierre de taille, 447, 448.
Déchet des meulières, 454.
Déchet des moellons, 453.
Décintrement des voûtes, 595, 601.
Déclic (sonnettes à), 509.
Décomptes, 12.
Défauts des pierres, 46.

Déformation des surfaces, 193.
Déjoutement, 838, 842.
Délit des pierres, 34, 47.
Démaigrissement des parements, 433.
Démolition, 1025.
Densité des solides, 177, 178.
Dépose de la pierre de taille, 447.
Dépôts et emprunts (déblais par), 380.
Dés en pierre, 831.
Désaboutement, 839, 842.
Descente (voûtes en), 578.
Desséchement du sol, 491.
Détail estimatif, 15.
Détrempe (peinture en), 991.
Devantures de boutiques, 733, 739.
Développements des lignes d'appareils des voûtes, 665, 669.
Devis, 5, 14, 1019.
Dévoiement des tuyaux de fumée, 984.
Diable, 354.
Digues, 564.
Dimensions des bois du commerce, 810.
Dimensions des briques, 69, 75, 77.
Dimensions des diverses parties d'un édifice, 745.
Dimensions des portes et croisées, 756.
Dômes, 575, 646.
Dormant de croisée, 568, 843, 849.
Dosserets, 524, 567, 724, 726, 750, 825.
Doucine, 695, 788.
Douelle, 574.
Dragages, 384.
Dragues, 378, 384.
Drainage, 709, 712.
Durcissement des pierres tendres, 161.
Durcissement du plâtre, 163.
Dynamite, 389.

E

Eau employée pour les mortiers, 127.
Eaux (conduites d'), 999.
Ebousinage, 56, 439, 448.
Ebrasements, 568, 850.
Echafauds, 364, et suiv. 728.
— volants, 368.
Echafaudages, 364 et suiv.
— (ordonnance de police), 370.
Echantignoles, 348, 892, 971.
Echasses, 364, 372.
Echelles, 365, 372.
— de meunier, 927.
Echiffre (mur d'), 927.
Echoppes, 728.
Eclairage au gaz, 989.
Eclairage sous galerie, 413.
Ecoinçon, 571.
Ecoperches, 364.
Ecoulement des eaux, 741.
Ecoulement direct à l'égout, 1000.
Ecrasement (résistance à l'), 183.
Ecuries, 1007, 1017.
Efforts tranchants, 199, 205, 280, 285.
Egouts, 703.
Egouts (maçonneries d'), 475.
— des toits, 960, 969, 974.
— (tout à l'), 999 à 1002.
Elasticité des matériaux, 179, 180, 191.
Elingue, 443.
Ellipse, 590, 797.
Embarrure, 964, 965.
Embrasements, 779.
Embrasure, 568.
Embrèvements, 831 à 834, 837.
Emmanchement, 926, 939.
Emmétrage des moellons et meulières, 454.
Empanons, 892.
Empattements, 495, 500.
Empierrement, 954, 1030.
Emprunts (déblais par dépôts et), 380.
Encaissement (fondation par), 515, 521, 562.
Encastrement des poutres, 204 et suiv., 223.
Encastrement des colonnes et piliers, 244, 249, 252.
Enchevêtrure, 716, 852, 856.
Encoignures, 437.
Encollages, 991, 995.
Encorbellement, 572, 729.
Endentures, 833, 837, 842.
Enduits (rocaillages pour), 455.
Enduits en ciment, 475, 773, 1041.
— colorés, 772.
— en mortiers hydrauliques, 481.
— en plâtre, 770, 773.
— (prix des), 773.
— de plafond, 875.
Enfourchement (assemblage à), 831 à 833.
Engrenure, 575.
Enlaçure, 842.
Enlèvement des terres, 390.
Enrayure (plancher d'), 858.
Enrochements, 57, 519.
Enseignes, 734.
Entablements, 727, 729, 731, 788.
Entailles (assemblages à), 833.
Entraits des fermes, 840, 891, 897, 908, 910, 913, 918.
Entraits (calcul), 294, 316, 323, 328, 335.
Entrait retroussé, 899, 909, 900, 913.
Entrées charretières, 958.
Entrelacs, 696.
Entrepreneurs, 1, 1025.
Entreprise, 4.
Entresols, 753.
Entretoises, 855, 868, 869.
Entretoisement des solives en fer, 867.
Entrevous, 782, 784, 810, 877, 1042.
Entures, 367, 374, 831.
Enture des pieux, 510.
Epaisseurs des murs, 528, 529, 533, 567.
— des planchers, 873.
— des voûtes, 578, 612, 621, 645, 646, 692.
Epannelage, 440, 441.
Epauffrures, 436.

Epaulement, 833, 834.
Eperons, 566.
Epinçoir, 356.
Epinglette, 386.
Epuisements, 383, 1028.
Equarrissage des solives et poutres (calcul), 234 et suiv., 286.
Equarrissage des bois pour combles, 913.
Equation de la courbe de tête des voûtes, 669.
Equerres, 864, 940.
Equilibre du terrain, 488.
— de voûtes, 633.
Escaliers en bois, 758, 871, 916, 925 à 939.
— en fer, 929, 930.
— à l'anglaise, 930, 937.
— circulaires, 933, 934.
Espagnolettes, 942.
Essais des agglomérats et mortiers, 109, 120, 146.
Essais des pierres, 51.
— du plâtre, 154.
Etables, 1011.
Etages, 753, 747, 749.
— supérieurs d'une maison, 715.
Etaiements, 373 à 375, 411, 1028.
Etais, 728.
Etain, 171.
Etalages sur les façades, 734.
Etanchéité du béton, 431.
Etanchement des caves, 711.
Etançons, 374.
Etats de lieux, 1020.
Etrésillons, 375, 855, 1045.
Etrésillonnements, 374, 383.
Etriers, 840, 856, 858.
Evidement des pierres, 434, 438, 441.
Eviers, 1002.
Excavateurs, 484.
Excavations (Voir *Déblais*).
— souterraines, 408 à 414.
— (calcul des talus d'), 552.
Expropriations, 752.
Extension (résistance à l'), 188, 192.
Extinction de la chaux, 98.
Extraction de la pierre de taille, 53.
— des roches, 385.
Extrados, 574, 633.
Extradossée (voûte), 579.

F

Façade (largeur d'une), 745.
Faîtage ou faîte, 725, 839, 841, 889, 891, 892, 920, 970, 971, 974.
Faîtières (tuiles), 964, 965.
Fenêtres, 567, 740, 746, 755, 780, 843 à 847, 1008, 1048.
Fenêtres métalliques, 943.
Fenils, 1016.
Fentons, 782, 868.
Fers, 169.
Fers employés en serrurerie, 939.
Fers (classification et prix), 172.
— (feuilles en tôle de), 172.
— à T, 201, 265.
— à double T, 201, 213, 254 et suiv., 270, 864 et suiv.
— à planchers, 173, 212, 254 et suiv., 1864 et suiv.
— à planchers (résistance des), 201, 213, 255 et suiv.
— (poids et modules de section), 214 à 221.
— Zorès, 174, 822.
— (colonnes et piliers en), 250 à 254.
— à vitrage, 976, 998.
Fer (action de la chaux, du plâtre et du ciment sur le), 158.
Résistance des matériaux, 178 à 182.
Ferme en bois, 294, 889.
Fermes en fer, 319 et suiv., 897 et suiv.
— mixtes, 902, 915.
Ferme à la Mansard, 319, 891, 897, 899, 916.
— Polonceau, 898, 901, 902, 905 à 907.
Fermes Shed, 323, 904 à 908.
— Palladio, 900.
— à contre-fiches et tirants, 329.
— américaines, 902.
— (assemblages des éléments des), 839 à 842.
— Baudrit, 912.
— Chaudy, 925.
— Philibert Delorme, 900.
— Pombla, 912.
— Emy, 900, 909.
— de Dion, 902.
— démontables, 1018.
Fermetures, 941, 943.
Ferrures, 836, 940, 1054.
Feuillards (fers), 172.
Feuilles de métaux (poids des), 172.
Feuillets (dimensions des bois), 810 et suiv.
Feuillures des baies, 568, 768, 844.
Fiches, 942.
Fiche à dents, 445.
Fil à plomb, 360.
Filets, 828, 829.
Fils (résistance des), 180, 182.
Filières, 364.
Flaches, 445.
Flèches des voûtes, 574, 580.
Flexion (résistance à la), 198, 231, 266, 282.
Fluatation des pierres, 163.
Foisonnement de la chaux, 100.
Foisonnement des terres, 382.
— des remblais, 406.
Fondations, 488, 693.
— (matériaux pour), 519.
— en asphalte, 523.
Fondations en béton, 418, 498.
— en moellons et meulière, 452, 498.
— hors de l'eau (exécution des), 494.
— (puits de), 493, 501.
— sur rigoles, 496.
— par piliers et piles, 497, 499, 502.
— en libages, 498.

Fondations sur pieux en béton, 499.
— sur radier, 500.
— sur racineaux, 503.
— en sable, 501.
— sur pilotis ou pieux, 504, 514.
— sous l'eau, 514, 519.
— sur sols détrempés, 518.
— tubulaires, 516.
— (murs de), 573.
— de caves, 708.
Fontes, 170, 1055.
— (feuilles de), 172.
— (piliers et colonnes en), 242 à 250.
— (résistance), 179, 180, 182, 242.
Forage, 386.
Forges, 721.
Formerets, 620.
Fosses d'aisances, 697, 702, 1000.
Fosses fixes, 698.
— mobiles, 701.
Fouilles, 378, 490, 693, 707, 1027.
— (prix des), 381, 383.
— des terres imbibées d'eau, 383.
— souterraines, 408 à 414.
Fours, 721, 724.
Fours à briques, 65.
Fours à chaux, 80, 94.
— à plâtre, 153.
— à cuire le pain, 805, 1016.
Fourneaux, 717, 721.
Fourneaux potagers, 1016.
Fournils, 722.
Fourrures en tôle, 866, 869.
Foyers, 717, 721, 724, 981.
Foyers mobiles, 988.
Frettage des pieux, 511.
Frettes, 500, 829, 843.
Frise, 695.
Frises de parquets, 811, 886, 1046.
— de portes, 848.
Frontons, 747, 754, 792.
Frottement, 194.
Fruit des murs, 487, 525, 565, 566.
Fusion de la chaux, 98.

G

Gabarit, 439.
Gâchage du ciment, 142.
— du plâtre, 156.
Galandages, 457.
Galeries (dimensions des), 746, 757.
Galeries souterraines, 408 et suiv.
Galets, 29.
Garde-corps des échafaudages, 370.
Gargouilles, 1036.
Garnis (moellons), 56, 450.
Gaz (éclairage au), 989.
— (conduite de), 990.
Gélivité des pierres, 47, 68.
Giron, 926, 937.
Glaces (pose des), 851.
— (prix des), 997.
Glissement (résistance des matériaux au), 196.
Glissement (résistance au) des voussoirs, 615
Gobetage, 769.
Gonds, 941.
Gorges, 696.
Goudrons, 1057.
Gouge, 364.
Gousset, 866, 869, 889, 892, 902, 921.
Gouttières, 979, 980.
Gradine, 356.
Gradins (talus en), 490.
— (murs en), 496.
Granges, 1015.
Granits, 22 à 25, 184, 954, 1037.
Granolithique, 954.
Grappier (ciment de), 140, 190.
Grès, 26 à 29, 184, 186, 952.
— bâtard, 38.
— Cérame, 946.
Griffe, 420.
Grillage de fondation, 514.
Grilles, 733, 736, 940.
Grues, 346, 373.
Grue roulante, 375.
Guettes, 814.
Guillaume, 362.
Gypse, 148.

H

Hachette, 359.
Haies, 738.
Hangars, 1017.
Harpes (pierres), 434, 466, 715.
Harpons en fer, 860.
Haubans, 345, 347.
Hauteurs des maisons et des étages, 747, 753.
Hauteur des solives en fer (calcul), 262, 269.
Hauteurs limites des voûtes, 642.
Herminette, 377.
Heure (prix de l'), 1023, 1063.
Hic, 505.
Honoraires, 1019 à 1021.
Horloges (saillie des), 734.
Hourdage des moellons ou meulières, 450, 451, 498.
Hourdis (briques pour), 71, 72, 877 à 881.
— de pans de bois et de cloisons, 763, 819.
— de planchers, 782, 862, 864, 875.
— en béton, 877, 880.
— en plâtre, 879, 880.
Huiles, 992, 1057.
Huisserie, 814, 849.
Humidité dans les logements (moyens de combattre l'), 712.
Hydraulicité des chaux, 85, 87, 101.
Hydraulique (conduites d'eau), 998.

I

Implantation d'un bâtiment, 486.
Impostes, 754, 845, 1049.

Incendies (précautions contre les), 717.
Incuits, 81.
Indice d'hydraulicité des chaux, 85, 87, 101.
Intrados, 574.

J

Jalousies, 736, 852, 1049.
Jambages des baies, 567, 714.
— des cheminées, 758, 803, 982.
Jambe de force, 892.
Jambes de pierre, 469.
Jambes étrière et boutisse, 728, 822, 824.
Jet des déblais à la pelle, 379, 382, 1028.
Jet d'eau des croisées, 844.
Joints des briques, 459, 461.
— des pierres, 432, 445, 485, 1039.
— apparents, 435.
— en plâtre, 803.
— (prix des), 473.
— (pressions sur les), 535.
Joints de rupture des voûtes, 607, 628.
Joints des voussoirs, 574.
Jointoiement, 473.
Jouées de lucarnes, 787.
Jours de souffrance ou de tolérance, 528.
Journées (prix des), 1023, 1063.
Jumelles (solives), 868, 871.

K

Kaolin, 58.

L

Laitance, 426.
Laiterie, 1015.
Laitier (briques en), 76.
— (ciments de), 121 à 123.
Laiton (feuilles de), 172.
Lambourde (pierre), 36.
Lambourdes, 853, 855, 857, 876.
— (scellement des), 784.
Lambris, 851, 993, 1050.
Languettes, 719, 724, 773, 845, 1042.
Lanternes de devantures, 736.
— de combles, 896, 919.
— de cheminées, 988.
Largeur d'un édifice, 745.
Larmier, 568, 696, 844.
Lattes, 167, 372, 960, 968.
Lattis, 763, 782, 893, 1042.
Lavabos, 1002.
Laves, 26, 954.
Lave fusible, 951.
Laye, 357.
Legers ouvrages en plâtre, 762, 1042, 1063.
Lessivage, 995.
Levier, 336, 513.
Liais, 32, 40, 470.
Libages, 51, 447, 471, 498.
Liège (briques de), 76.
— (béton de), 881.
Liège (pavage en), 948.
Liens obliques des fermes, 328, 336.
Lierne, 855.
Ligne de foulée, 935.
Limons, 916, 926, 928, 930.
Limousinage, 56, 450.
Linçoir, 853.
Linoléum, 996.
Linteaux, 567, 569 à 572, 714, 814.
Linteau en fer, 269, 871.
Lits des pierres, 46, 431.
Locomobiles, 510.
Locomotives, 401, 403.
Logements insalubres, 751.
Long-pan, 889.
Loqueteaux, 941.
Louchet, 377.
Louve, 444.
Lucarnes, 737, 750, 756, 787, 915, 916.
Lunettes des voûtes, 576.

M

Macadam, 948, 954.
Mâchefer, 955.
Machines à coffres, 420.
Maçon (outillage du), 358.
Maçonneries (résistance des), 184 à 194.
— (prix des), 472.
Maçonnerie de béton, 417.
— de béton aggloméré, 439.
Maçonneries de briques, 60, 456, 1037, 1041.
— creuse en briques, 461.
— de meulière, 453, 1037.
— de moellons, 448, 1037.
— de pierre de taille, 431, 1037.
— de pierrailles et ciment, 475.
— mixte en pierre et petits materiaux, 465.
— hourdée en ciment, 474.
Madriers, 811, 813.
Magasin à blé, 762.
— de paille, 723.
Mailloche, 505.
Mains courantes, 852, 933, 1053.
Maisons légères en bois, 1017.
Maisons démontables, 1017.
— assainie par le tout à l'égout, 1002.
Maitresse-poutre, 237, 852.
Malaxeur, 137.
Manège à mortier, 135, 137.
Mangeoire, 1010.
Marbres, 32, 38 à 45, 184.
Marbrerie, 947, 982.
Marchage de la terre à brique, 62.
Marches d'escaliers, 25, 447, 729, 758, 926 et suiv.
Marchés, 4, 5, 15, 16.
Marmoréine, 163.
Marnes, 58.
Marquises, 333, 734, 925, 940.
Marteaux, 356, 359, 360.
Mastics, 45, 167, 998, 1058.

Mastic d'asphalte, 523, 949, 1035.
Matériaux de construction, 22 et suiv.
Matériaux (densités), 177, 178.
— (résistance des), 178 et suiv.
Matières combustibles (dépôts de), 723.
Mélanges des couleurs, 994.
Membrures (dimensions), 810.
Meneaux, 846.
Menuiserie, 808, 843 à 852, 1045.
— métallique, 943.
Métrage, 1021.
Meulière, 30, 184, 187, 1037, 1040.
— (maçonnerie de), 453, 472.
— (fondations en), 498.
Mine (extraction à la), 378, 386.
— sous-marine, 390.
Ministères, 1 à 3.
Mitoyens (murs), 495, 528, 533, 724.
Mitres de cheminée, 78, 776, 986, 988.
Module d'élasticité, 179, 180.
— de section des solides, 199, 200, 214.
— de section des fers laminés, 255.
Moellons, 56, 187, 433, 1037, 1040.
— (maçonnerie de), 448 à 453, 466, 468, 472.
— (fondations en), 498.
— (murs en), 533.
— (voûtes en), 643.
Moises, 840, 900.
Moments fléchissants, 199 et suiv., 228, 238, 242, 255.
Moments d'élasticité, 199.
— d'inertie, 200, 212.
— d'une force, 342.
Montage des pierres, 443, 472.
— des terres, 405.
Montres de boutiques, 734.
Morizets, 343, 364.
Mortaise (assemblages à), 831 à 834.
Mortiers de béton, 417, 1039.
— de chaux, 125, 130, 133, 144, 188, 1039.
— (volume employé pour maçonneries), 447.
— (employé pour maçonnerie de moellons), 450, 451.
— employé pour meulière, 454.
— de ciment, 474.
— pour enduits, 481.
— pour fondations, 498.
Mortiers de ciment, 113, 118, 119, 125, 138, 140, 145.
— de ciment de tuileaux, 136.
Mortier de terre, 130.
— bâtard, 141.
— à la soude, 145.
Mortiers (essais des), 109, 120, 146.
— (composition de) 133, 139.
— (décomposition), 126.
— (fabrication), 133.
— employés à la mer, 127, 147.
— (prix des), 136.
— (dureté et cohésion), 144, 194.
— (résistance), 146, 183, 185, 188 à 194.
Mosaïques (carrelages), 944, 952.
Mouchettes, 155.
Moufle, 341, 371.
Moulage de la brique, 63.
Moulures, 695, 696, 733, 788 à 801, 852.
— à courbure elliptique, 797.
Moutons, 506, 510.
Moyes, 46, 48.
Murs en bois, 815 à 819, 1017.
— à double paroi, 821.
Murs en brique, 457 à 463, 533.
— en briques-moellons, 464.
— en moellons, 452, 538.
— en pierre de taille, 432, 437, 447, 533.
— creux en briques, 461 à 463.
— mixtes en pierre et petits matériaux, 465.
— (dénomination des), 524.
— (fruit des), 487.
— (construction des), 486, 524, 713.
— (épaisseurs des), 528, 533.
— de fondations, 495, 498, 533.
— de clôture, 526, 533.
— mitoyens, 495, 528, 533, 724.
— de face, 525, 533.
— de refend, 495, 525, 533.
— de soutènement, 539, 546, 566.
— de réservoirs, 545, 550, 565.
— de revêtement, 553, 567.
— (surface occupée par les), 534.
— (résistance), 534.
— en pierres sèches, 555.
— consolidés par des contreforts, 555.

N

Nervures des voûtes, 577, 619, 620.
Niches, 576, 651.
Niveaux, 416.
Niveau de maçon, 361.
— de poseur, 361.
Nivellement, 415, 1027.
Noue, 897, 970.
Noyau d'escalier, 933.
Nus, 767, 793.

O

Ogive (voûtes en), 573, 580, 638.
Oiseau, 353.
Onglet (assemblage à), 833, 836.
Oulice (assemblage à), 839.
Outils, 336, 356, 377.
Ouvertures dans les voûtes, 691.
— limites des voûtes, 642.
Ouvriers, 7.
Ove, 696.

P

Palan, 341.
Paliers d'escaliers, 926, 928, 932.
Palmettes, 696.
Palplanches, 515, 562.
Pan coupé, 437.

Pans de bois, 532, 785, 814, 862, 1043.
— (hourdis de), 764.
— de fer, 821.
Panneaux (dimensions), 810, 848.
— (prix), 944.
Pannes, 891, 897, 899, 910, 913, 923, 924.
— (calcul des), 298, 316, 318, 323.
Papiers peints, 995, 996.
— vulcanisé (couverture en), 979.
Parabole (voûtes en), 682.
Parage des briques, 63.
Parapets de ponts, 465, 470.
Parements des pierres, 432, 473, 1040.
— en enduits, 484.
— des voûtes, 574.
Parmain, 37.
Parpaing, 432, 434, 785.
Parquets, 811, 855, 857, 870, 873, 886, 1046.
Parquets (prix des), 888.
— sans clous, 888.
— en caoutchouc, 888.
Passerelles, 940.
Pâtés (voûtes sur), 590.
Paumelles, 849, 940.
Pavage, 944, 1030.
— en briques, 457, 947.
— en liège, 948.
— en asphalte, 948, 951, 956.
— en grès, 28, 952, 956, 1030.
— en granit, 948, 954.
— en bois, 948, 955, 1009.
— en terre, 882.
— (prix des divers), 956.
Pavillon (toit en), 889, 891.
Payements, 13.
Peinture, 991, 1057.
Pelles, 377.
— à couler, 521.
Pendentifs, 575, 576, 580.
Pénétration dans les voûtes de caves, 710.
Pente des chaussées, 952, 956.
— des toits, 911, 913, 914, 959.
Pentures, 942.
Percement de baies, 744.
Perméabilité, 198.
Permission de construire, 753.
— de voirie, 737.
Perrons, 729, 937, 938.
Persiennes, 729, 736, 847, 852, 942, 1049.
Peuplier, 813.
Pic, 378.
Pièces d'un appartement (dimensions), 757, 759 à 761.
Pieds-droits des baies, 567, 730.
— des voûtes, 574, 614, 642, 645.
— des dômes, 650.
Pierres, 22 et suiv.
— (durcissement des), 161.
— argileuses, 26.
— à chaux, 81.
— à plâtre, 150.
Pierres de taille, 433, 466, 1037.
— (appareil des), 433.
Pierres (résistance des), 182, 183 à 198.
— (poids des), 184 à 187.
— (taille des), 437 à 442.
— (transport), 443.
— (montage), 443.
— (pose des), 445.
— (déchet des), 447.
— (prix des), 50, 470.
— artificielles en bétons, 431.
— franche, 35.
— factices, 474.
Pieux de fondations, 503, 505, 510 à 514.
— à vis, 511.
— en béton ou mortier, 499.
Pigeonnage en plâtre, 773, 1042.
Pignons (murs), 524, 889.
Pilastres, 437, 730, 733.
— d'escaliers, 931, 944.
Piles en pierre, 437, 822.
— de fondations, 499, 501.
— de ponts, 580, 581.
Piliers en pierre, 754.
— en fonte et en fer (résistance), 242 à 254.
— de pans de fer, 823.
— (fondations par), 497, 499.
— (Voir *Colonnes*).
Pilots, 222.
Pilotis (fondations sur), 504, 514.
Pinces, 337, 375, 378.
Pioches, 356, 377.
Piquage en moellons, 57, 449.
— de la meulière, 453.
Piquets, 416, 486.
Pisé, 429, 477, 533.
Pisoir, 477.
Pitchpin, 810, 811, 814.
Pivots, 941.
Plafonds, 764, 783, 793, 876 à 879, 1043.
Planchers (fers à), 173, 212, 254 et suiv.
— (calcul d'un), 283, 871.
— (Voir *Solives*).
— en acier, 875.
— en bois, 781, 852.
— (poids d'un), 862.
Planchers en bois et fer, 283.
— en briques, 781.
— incombustibles (voûtes minces pour), 622.
— en fer, 782, 864.
— en fer et ciment, 883.
— supportant une cloison, 859, 871.
— disposé pour le passage d'un escalier 859, 871.
— disposés en face des baies, 871.
— disposé devant une cheminée, 872.
— (charge, poids et prix), 872 à 875.
— en verre, 882.
— de terrasse en ciment, 978.
Planches d'échafauds, 364, 372.
Planches du commerce (dimensions), 812.

Plans d'appartement, 532, 759 à 761.
Plaque de fondation, 827.
Plates-bandes, 568, 570, 575.
Plate-forme (fondations sur), 503, 514.
Plâtras, 158, 187, 472.
Plâtre, 148, 1038.
— (pierres à), 150.
— (extraction), 151.
— (cuisson), 153.
— (qualités), 154.
— (essai), 154.
— (conservation), 154.
— (emplois), 155.
— (gâchage), 155.
— (cohésion), 157.
— (durcissement), 163.
— (résistance et poids), 182, 185, 186.
— (volume employé pour maçonneries), 447.
Plâtre, employé pour maçonnerie de moellons, 451.
Plâtre, employé pour maçonnerie de meulière, 454.
Plâtre aluné, 160.
— colorés, 160.
— durci, 166.
Plein cintre (voûtes en), 573, 578, 645.
— (tracé du), 582.
Plinthe, 788, 852, 945.
Plomb, 171.
— (feuilles de), 172.
— (couverture en), 913, 971.
Plus-value, 1028.
Poids des ardoises, 966.
— des fers, 214 à 221.
— des feuilles de divers métaux, 172.
— spécifique des corps, 177, 178.
— des pierres, 184 à 187.
— des planchers, 872 à 875.
— des solives et poutres en fer (calcul), 259, 263, 266.
Poids d'une voûte, 605.
Poinçon (outil), 356.
Poinçons des fermes, 840, 890, 897, 913.
— d'une ferme (calcul), 294, 323.
— d'une poutre armée, 302.
Pointe, 356.
Pointerolle, 378.
Points d'appui, 822.
Poitrails, 814, 818, 822, 829, 870, 885.
Poitrails (résistance des), 231, 237.
Ponts (construction des), 600.
Polissage des marbres, 44.
Porche, 746.
Porcheries, 1010.
Porosité, 197.
Porphyre, 22, 25, 61.
Porte-à-faux, 815, 817.
Portées des solives en bois, 855.
— des solives en fer 257 et suiv.
Portes, 573, 740, 747, 755, 779, 845, 849, 942, 1008, 1011, 1014, 1047.
Portes-croisées, 846, 1049.
Portes d'intérieur, 848.
— métalliques, 910, 943.
Portique, 754.
Pose de la meulière, 454.
— des moellons, 449.
— de la pierre de taille, 445 à 447, 473.
— des enduits, 482, 483.
Postes (ornements), 696.
— d'eau, 1093.
Poteaux en bois, 828.
— (résistance des), 219 à 226.
Poteaux de pans de bois, 814, 818.
Poteaux de pans de fer, 822, 824.
Poteiet, 368.
Poteries en terre cuite, 78.
— en plâtre, 159.
— pour planchers, 876.
Poudingues, 30.
Poudre (extraction des roches à la), 385.
Poulaillers, 1015.
Poulie, 239, 341.
Poussée des terres, 539, 546.
— d'un remblai, 564.
— des voûtes, 623, 638.
— au vide des voûtes biaises, 660.
Poutres en acier, 875.
— (résistance des), 201, 205 à 218, 226, 235, 241, 261 et suiv., 312.
Poutres (pressions sur les appuis des), 226 à 231.
Poutres armées en bois, 838, 842, 862.
— armées en bois (calcul), 298, 306, 308.
— armées en fer (calcul), 302.
— articulées, 312.
— continues à travées égales, chargées uniformément, 242.
— latice (calcul), 311.
— métalliques (calcul et résistance), 261, 270, 282.
Poutres à treillis en tôle, 275, 282.
— triangulaire métallique, 333.
— (calcul d'équarrissage des), 234, 286.
— inclinées, 285 à 294.
— en bois (dimensions), 811.
— en bois, 815, 852 et suiv.
— en fer, 823, 828, 864 et suiv.
— tubulaires, 823, 866, 869.
— d'assemblage, 856.
— refendue, 856.
— mixtes en fer et bois, 885.
Pouzzolane, 86, 101, 132.
— artificielle, 102.
Préparation des surfaces pour recevoir les enduits, 481.
Pressions d'une poutre ou solive sur ses appuis, 226, 242.
Pressions sur les joints dans les maçonneries, 535.
Pression d'une voûte sur son cintre, 590.
— (courbe des) d'une voûte, 624, 639.
— en un point d'une voûte, 639.

Prise du ciment, 111, 118.
Privilège des ouvriers et fournisseurs, 20.
Prix (série de), 1018.
— des ardoises, 966, 967.
— des appareils sanitaires, 1001.
— des bétons, 429.
— du battage des pieux, 510.
— des bois d'échafaud, 372.
— des bois, 812.
— des briques, 75.
— des chaussées, 956.
— des couleurs, 995.
— des démolitions, 1025.
— des enduits, 773.
— des fers, 172.
— des fouilles et déblais, 382, 414.
— des glaces, 997.
— des granits, 24.
— des journées d'entreprises, 1023, 1063.
— des légers ouvrages, 762, 1063.
— des maçonneries, 472.
— des marbres, 45.
— des mortiers, 136.
— d'objets en fonte, 944.
— des ouvrages en bois, 852.
— des parquets, 888.
— des pavés en grès, 953.
— des pierres, 50, 470.
— des planchers, 852, 874.
— des sondes, 493.
— des terrassements, 381.
— des divers modes de transports, 403.
— des trous et scellements, 787.
— des tuiles, 963.
— des verres, 997.
Profil des dômes, 648.
— vertical d'une voûte (surface du), 605, 636.
Profil d'équilibre d'une voûte, 633.
Projections des diverses lignes d'appareils des voûtes, 665.
Puisards, 414, 493, 701.
Puissance d'un levier, 336, 342.
Puits, 409, 493, 501, 701.

Q

Quais (murs de), 555.
Qualités des pierres, 46.
Quart-de-rond, 695, 788.
Quartz, 22.
Queue de pierre, 432.
Queue d'aronde ou d'hironde, 830, 831, 835.
Quincaillerie, 940, 1054.

R

Rabais, 16.
Rabattements des lignes d'appareils des voûtes, 665.
Rabot, 130, 134, 136.
Raccord d'angles de vieilles corniches, 800.
Racinaux (fondations sur), 503, 514.
Radier (fondation sur), 500.
Raideur des cordes, 339.
Rails, 394, 399.
Rais de cœur, 696.
Ramonage, 721.
Rampes (influence sur les distances du transport), 404.
Rampes d'escaliers, 759, 926, 933, 938, 940.
Rappointis, 169.
Râtelier, 1010.
Ravalements, 436, 438, 442, 474, 772, 779.
Rebattage des briques, 63.
Rebouchage, 44, 995, 1058.
Recépage des pieux, 512.
Réception des travaux, 13, 21.
Recherche des pierres, 51.
Reconnaissance du terrain, 491.
Recouvrement de pièces de charpente, 773.
Reculement des alignements, 738.
Redans, 425, 496.
Refends, 435, 437.
Refend (murs de), 495, 524, 525, 533.
Refends en plâtre, 803.
Refouillements, 438, 441, 473.
Refus d'un pieu, 508.
Regards en fonte, 1055.
Régie, 4, 7.
Règles de maçon, 363.
Reins des voûtes, 579, 600.
Règlements de prix, 9, 11.
Rejointoiements, 438, 442, 473, 484, 739, 1041.
Relais, 352, 391, 1028.
Remblais, 381, 406, 539, 541, 1029.
Remblais (poussée des), 564.
Remplissage des pans de bois, 819.
Renforcement des bois, 833.
Renformis, 764, 769.
Réparation, 806.
— locatives, 1022.
Repères, 767.
Réservoirs (calcul des murs de), 544, 549, 550, 565, 622.
Réservoirs de chasse, 1001, 1002.
Résistance des matériaux, 178 et suiv.
— à la compression, 191, 219, 242.
— à l'écrasement, 183.
— à l'extension, 188, 192.
— à la flexion, 198, 231.
— au glissement, 196.
— à la traction, 178.
— à la rupture, 181, 242.
— à l'usure, 197.
— des bétons agglomérés, 430.
Résistance des bois, 179 à 181, 219.
— des briques, 74, 77, 182, 185, 187.
— des blocs superposés, 534.
— du ciment armé, 883.
— des ciments, 112, 119, 124, 183, 190.
— des colonnes et piliers métalliques, 242.
— des fers à planchers, 213 à 220, 255 et suiv.

****

Déformation des surfaces, 193.
Déjoutement, 838, 842.
Délit des pierres, 34, 47.
Démaigrissement des parements, 433.
Démolition, 1025.
Densité des solides, 177, 178.
Dépose de la pierre de taille, 447.
Dépôts et emprunts (déblais par), 380.
Dés en pierre, 831.
Désaboutement, 839, 842.
Descente (voûtes en), 578.
Desséchement du sol, 491.
Détail estimatif, 15.
Détrempe (peinture en), 991.
Devantures de boutiques, 733, 739.
Développements des lignes d'appareils des voûtes, 665, 669.
Devis, 5, 14, 1019.
Dévoiement des tuyaux de fumée, 984.
Diable, 354.
Digues, 564.
Dimensions des bois du commerce, 810.
Dimensions des briques, 69, 75, 77.
Dimensions des diverses parties d'un édifice, 745.
Dimensions des portes et croisées, 756.
Dômes, 575, 646.
Dormant de croisée, 568, 843, 849.
Dosserets, 524, 567, 724, 726, 750, 825.
Doucine, 695, 788.
Douelle, 574.
Dragages, 384.
Dragues, 378, 384.
Drainage, 709, 712.
Durcissement des pierres tendres, 161.
Durcissement du plâtre, 163.
Dynamite, 389.

E

Eau employée pour les mortiers, 127.
Eaux (conduites d'), 990.
Ebousinage, 56, 439, 448.
Ebrasements, 568, 850.
Echafauds, 364, et suiv. 728.
— volants, 368.
Echafaudages, 364 et suiv.
— (ordonnance de police), 370.
Echantignoles, 348, 892, 971.
Echasses, 364, 372.
Echelles, 365, 372.
— de meunier, 927.
Echiffre (mur d'), 927.
Echoppes, 728.
Eclairage au gaz, 989.
Eclairage sous galerie, 413.
Ecoinçon, 571.
Ecoperches, 364.
Ecoulement des eaux, 741.
Ecoulement direct à l'égout, 1000.
Ecrasement (résistance à l'), 183.
Ecuries, 1007, 1017.
Efforts tranchants, 199, 205, 280, 285.
Egouts, 703.
Egouts (maçonneries d'), 475.
— des toits, 960, 969, 974.
— (tout à l'), 999 à 1002.
Elasticité des matériaux, 179, 180, 191.
Elingue, 443.
Ellipse, 590, 797.
Embarrure, 964, 965.
Embrasements, 779.
Embrasure, 568.
Embrèvements, 831 à 834, 837.
Emmanchement, 926, 939.
Emmétrage des moellons et meulières, 454.
Empanons, 892.
Empattements, 495, 500.
Empierrement, 954, 1030.
Emprunts (déblais par dépôts et), 380.
Encaissement (fondation par), 515, 521, 562.
Encastrement des poutres, 204 et suiv., 223.
Encastrement des colonnes et piliers, 244, 249, 252.
Enchevêtrure, 716, 852, 856.
Encoignures, 437.
Encollages, 991, 995.
Encorbellement, 572, 729.
Endentures, 833, 837, 842.
Enduits (rocaillages pour), 455.
Enduits en ciment, 475, 773, 1041.
— colorés, 772.
— en mortiers hydrauliques, 481.
— en plâtre, 770, 773.
— (prix des), 773.
— de plafond, 875.
Enfourchement (assemblage à), 831 à 833.
Engrenure, 575.
Enlaçure, 842.
Enlèvement des terres, 390.
Enrayure (plancher d'), 858.
Enrochements, 57, 519.
Enseignes, 734.
Entablements, 727, 729, 731, 788.
Entailles (assemblages à), 833.
Entraits des fermes, 840, 891, 897, 908, 910, 913, 918.
Entraits (calcul), 294, 316, 323, 328, 335.
Entrait retroussé, 899, 909, 900, 913.
Entrées charretières, 958.
Entrelacs, 696.
Entrepreneurs, 1, 1025.
Entreprise, 4.
Entresols, 753.
Entretoises, 855, 868, 869.
Entretoisement des solives en fer, 867.
Entrevous, 782, 784, 810, 877, 1042.
Entures, 367, 374, 831.
Enture des pieux, 510.
Epaisseurs des murs, 528, 529, 533, 567.
— des planchers, 873.
— des voûtes, 578, 612, 621, 645, 646, 692.
Epannelage, 440, 441.
Epauffrures, 436.

Epaulement, 833. 834.
Eperons, 568.
Epinçoir, 356.
Epinglette, 386.
Epuisements, 383, 1028.
Equarrissage des solives et poutres (calcul), 234 et suiv., 286.
Equarrissage des bois pour combles, 913.
Equation de la courbe de tête des voûtes, 669.
Equerres, 864, 940.
Equilibre du terrain, 488.
— de voûtes, 633.
Escaliers en bois, 758, 871, 916, 925 à 939.
— en fer, 929, 930.
— à l'anglaise, 930, 937.
— circulaires, 933, 934.
Espagnolettes, 942.
Essais des agglomérats et mortiers, 109, 120, 146.
Essais des pierres, 51.
— du plâtre, 154.
Etables, 1011.
Etages, 753, 747, 749.
— supérieurs d'une maison, 715.
Etaiements, 373 à 375, 411, 1028.
Etais, 728.
Etain, 171.
Etalages sur les façades, 734.
Etanchéité du béton, 431.
Etanchement des caves, 711.
Etançons, 374.
Etats de lieux, 1020.
Etrésillons, 375, 855, 1045.
Etrésillonnements, 374, 383.
Etriers, 840, 856, 858.
Evidement des pierres, 434, 438, 441.
Eviers, 1002.
Excavateurs, 484.
Excavations (Voir *Déblais*).
— souterraines, 408 à 414.
— (calcul des talus d'), 552.
Expropriations, 752.
Extension (résistance à l'), 188, 192.
Extinction de la chaux, 98.
Extraction de la pierre de taille, 53.
— des roches, 385.
Extrados, 574, 633.
Extradossée (voûte), 579.

F

Façade (largeur d'une), 745.
Faîtage ou faîte, 725, 839, 841, 889, 891, 892, 920, 970, 971, 974.
Faîtières (tuiles), 964, 965.
Fenêtres, 567, 740, 746, 755, 780, 843 à 847, 1008, 1048.
Fenêtres métalliques, 943.
Fenils, 1016.
Fentons, 782, 868.
Fers, 169.
Fers employés en serrurerie, 939.
Fers (classification et prix), 172.
— (feuilles en tôle de), 172.
— à T, 201, 265.
— à double T, 201, 213, 254 et suiv., 270, 864 et suiv.
— à planchers, 173, 212, 254 et suiv., 1864 et suiv.
— à planchers (résistance des), 201, 213, 255 et suiv.
— (poids et modules de section), 214 à 221.
— Zorès, 174, 822.
— (colonnes et piliers en), 250 à 254.
— à vitrage, 976, 998.
Fer (action de la chaux, du plâtre et du ciment sur le), 158.
Résistance des matériaux, 178 à 182.
Ferme en bois, 294, 889.
Fermes en fer, 319 et suiv., 897 et suiv.
— mixtes, 902, 915.
Ferme à la Mansard, 319, 891, 897, 899, 916.
— Polonceau, 898, 901, 902, 905 à 907.
Fermes Shed, 323, 904 à 908.
— Palladio, 900.
— à contre-fiches et tirants, 329.
— américaines, 902.
— (assemblages des éléments des), 839 à 842.
— Baudrit, 912.
— Chaudy, 925.
— Philibert Delorme, 900.
— Pombla, 912.
— Emy, 900, 909.
— de Dion, 902.
— démontables, 1018.
Fermetures, 941, 943.
Ferrures, 836, 940, 1054.
Feuillards (fers), 172.
Feuilles de métaux (poids des), 172.
Feuillets (dimensions des bois), 810 et suiv.
Feuillures des baies, 568, 768, 844.
Fiches, 942.
Fiche à dents, 445.
Fil à plomb, 360.
Filets, 828, 829.
Fils (résistance des), 180, 182.
Filières, 364.
Flaches, 445.
Flèches des voûtes, 574, 580.
Flexion (résistance à la), 198, 231, 266, 282.
Fluatation des pierres, 163.
Foisonnement de la chaux, 100.
Foisonnement des terres, 382.
— des remblais, 406.
Fondations, 488, 693.
— (matériaux pour), 519.
— en asphalte, 523.
Fondations en béton, 418, 498.
— en moellons et meulière, 452, 498.
— hors de l'eau (exécution des), 494.
— (puits de), 493, 501.
— sur rigoles, 496.
— par piliers et piles, 497, 499, 502.
— en libages, 498.

Ventilation des souterrains, 413.
Ventouses, 988.
Vergelé, 36, 50, 471.
Vermiculures, 436.
Vernis, 991, 995, 1057.
Verre (planchers), 882.
— (couverture en), 913, 977.
— à vitres, 996, 1060.
Vestibule, 746.
Vidange, 700, 999.
Vis pour le gâchage du ciment, 143.
Vitrage (fers à), 976.
Vitrerie, 996, 1060.
Vitrines, 734.
Voie ferrée, 397.
Voie portative, 393.
Voie publique (occupation temporaire), 740.
Voirie (permissions de), 737.
— (décret sur la grande), 752.
Volets, 733, 736, 847, 1048.
Voliges, 810 à 813, 814, 968.
Voussoirs, 574, 596.
Voussoirs (briques), 71, 72, 78.
— (déchets des), 448.
— des baies, 569, 571.
— (centre de gravité des), 610.
Voûtes en arc de cercle, 675.
Voûtes, 573.
— en arc de cloître, 577, 651.
Voûtes d'arête, 576, 651.
Voûtes en briques, 71, 72, 78, 457, 465, 598, 601, 620.
— en berceau, 574, 578.
— en ciment, 474, 689.
— de caves, 708.
— en maçonnerie, 447.
— en moellons, 452, 598.
— en pierre de taille, 596.
— en petits matériaux, 598.
— elliptiques, 576, 589.
— légères, 620.
Voûtes minces, 622.
— en poterie, 620.
— rampantes, 578.
— biaises, 659, 663, 687.
Voûtes renversées, 497.
— sphériques, 575.
— souterraines, 411.
— (stabilité des), 606, 624 et suiv.
— surbaissées, 575, 579, 582.
— surhaussées, 575.
— de fondations, 497, 499, 502.
— (matériaux employés), 578.
— (décoration des), 619.
— (épaisseur des), 578, 612, 621, 645, 646.
— (calcul des), 625, 631.
— (choix des), 581.
— (construction des), 592.
— (dimensions), 607, 642.
— (pose des), 596.
— (poussée des), 623, 638.
— sans cintre, 604.
— (profil d'équilibre des), 633.
— (surface du profil vertical et poids d'une), 605, 636.
Voûtes (ouvertures dans les), 691.
— (expériences sur la résistance des), 691.
— en briques pour planchers, 868, 877.

W

Wagons de terrassement, 352, 393, 397, 403.
Wagons de cheminées, 719, 725, 983, 984, 986 à 988.
Wagonnets, 352, 393, 403.
Water-closets, 1002.

Z

Zinc, 171.
— (feuilles de), 172, 976.
— (couverture en), 913, 973 à 976.

LIBRARY OF THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA

PRATIQUE

DE

L'ART DE CONSTRUIRE

CHAPITRE PREMIER

TRAVAUX PUBLICS. — ENTREPRENEURS. — CLAUSES ET CONDITIONS GÉNÉRALES IMPOSÉES. — ADJUDICATIONS ET MARCHÉS. — ENTREPRISES.

Travaux publics[1]. — Les *entrepreneurs de travaux publics* exécutent des travaux publics moyennant un prix convenu; les *concessionnaires de travaux publics* exécutent ces travaux moyennant l'autorisation de percevoir du public, jouissant de l'ouvrage exécuté, une rétribution d'après un tarif et pendant un temps déterminés par la convention.

La loi du 3 mai 1841 a réglé l'*expropriation pour cause d'utilité publique*, et l'article 4 du sénatus-consulte du 25 décembre 1852 a modifié la dernière partie du premier paragraphe de l'article 3 de cette loi.

Auprès du *Ministère des Travaux publics* est placé le *Conseil général des Ponts et Chaussées*. Ce conseil, composé des *Inspecteurs généraux*, donne son avis sur les avant-projets des travaux des Ponts et Chaussées (routes et ponts, navigation, chemins de fer), sur leur exécution et sur les difficultés de règlement et de payement des ouvrages.

La *Commission mixte des Travaux publics* étudie les questions relatives aux travaux intéressant à la fois les services civils et les services militaires, parce qu'ils sont faits sur la zone frontière.

Il existe aussi d'autres Commissions permanentes siégeant près le Ministère des Travaux publics et qui intéressent les travaux. Citons entre autres la *Commission du Nivellement général de la France*, celle des *Routes nationales*, celle des *Chaux, Ciments et Mortiers* (pour les essais), celle des *Phares*, etc.

Le *Ministre de l'Intérieur* a, dans ses attributions, la centralisa-

[1] Consulter *le Livre des entrepreneurs*, de Delvincourt, et *l'Organisation des services de travaux publics*, de L. Camprédon (1896).

tion du service vicinal et le contrôle des travaux concernant les prisons, les établissements départementaux d'aliénés, les maisons centrales de détention, les manufactures de l'État.

Le *Sous-Comité technique de la Vicinalité*, institué auprès de ce Ministère, par arrêté du 13 novembre 1885, et modifié par celui du 31 décembre 1888, examine tous les projets de travaux subventionnés par l'État.

Le *Ministère de l'Instruction publique, des Beaux-Arts et des Cultes* comprend quatre services intéressant les travaux : 1° celui des Bâtiments civils et Palais nationaux ; 2° le service diocésain ; 3° le service des Monuments historiques ; 4° le service des Bâtiments scolaires.

Le *Service des Bâtiments civils et Palais nationaux*, souvent remanié, depuis le règlement du 22 janvier 1852, a dans ses attributions la construction et la conservation de tous les bâtiments et édifices consacrés aux services publics d'intérêt général non militaires. Mais actuellement, par suite de modifications nombreuses, le service des Bâtiments civils et des Palais nationaux ne comprend plus que les ministères, les écoles et facultés d'enseignement supérieur, les dépôts d'étalons, les bibliothèques nationales, les établissements publics administrés au nom de l'Etat, les théâtres, les palais nationaux (tels que le Louvre, Versailles, etc.), les monuments de France qui n'ont pas été classés parmi les monuments historiques, les musées, manufactures artistiques, magasins de décors, observatoires, stations scientifiques et cours de justice, qui ont un caractère national par leur importance.

Le décret du 3 mars 1891 a institué, à côté de cette administration centrale, le *Conseil général des Bâtiments civils* et la *Commission supérieure des Bâtiments civils et des Palais nationaux*.

Le *Conseil des Bâtiments civils et Palais nationaux* donne son avis sur les règlements de compte et procède à la réception des travaux lorsque les édifices sont terminés.

Le *Service diocésain* s'occupe des travaux concernant les édifices du culte, tels que cathédrales, palais épiscopaux et archiépiscopaux, séminaires, églises métropolitaines. Il approuve les projets de construction et de réparations d'édifices diocésains. Le préfet, sur l'avis de l'évêque, transmet le devis de l'architecte diocésain au Ministre qui statue. Les églises communales, les presbytères et certains temples, considérés comme édifices communaux, dépendent du service communal, et non du Ministère.

Le *Service des Monuments historiques*, institué par arrêté du 29 septembre 1837, s'occupe des travaux concernant les édifices classés comme monuments historiques par la *Commission des Monuments historiques*.

Le *Service des Bâtiments scolaires* a la haute surveillance des

bâtiments affectés aux écoles communales, écoles maternelles, écoles normales départementales, écoles normales supérieures, etc. Pour tous ces travaux l'autorisation ministérielle est nécessaire.

Le *Ministère de l'Agriculture* a dans ses attributions les travaux d'hydraulique agricole et le service des forêts.

Le *Ministère du Commerce, de l'Industrie, des Postes et des Télégraphes* s'occupe de l'établissement, de l'entretien et de l'exploitation des lignes postales, télégraphiques et téléphoniques.

Le *Ministère des Finances* a sous sa dépendance toutes les opérations cadastrales.

Le *Ministère de la Guerre* a des attributions étendues en matière de travaux publics : elles comprennent les établissements et constructions servant à la défense et au casernement des troupes. L'exécution des travaux militaires est confiée au corps du Génie, sauf les travaux intérieurs d'entretien et aménagement des magasins à poudre, qui sont sous la direction du service de l'Artillerie ou de celui des Poudres et Salpêtres.

Le *Ministère de la Marine* a dans ses attributions les ports militaires, les rades, les arsenaux, et dans ces ports tous les travaux hydrauliques, tels que ceux qui concernent les bassins, les cales, les quais, les digues, etc., et les bâtiments civils, tels que magasins, ateliers, hangars, casernes, hôpitaux, phares, etc.

Travaux départementaux. — Le décret de décentralisation du 25 mars 1852 a donné au préfet le droit d'approuver les projets, plans et devis des travaux exécutés sur les fonds départementaux, et de les adjuger, à quelque somme qu'ils puissent s'élever.

Les lois des 11 juillet 1866 et 10 août 1871 ont attribué aux Conseils généraux le droit de statuer sur les projets, plans et devis de tous travaux d'entretien ou de travaux neufs ne dépassant pas les ressources ordinaires du budget départemental (préfectures, casernes de gendarmerie, hospices, bourses de commerce, théâtres, etc.).

Travaux communaux. — La loi du 5 avril 1884 a indiqué que les travaux communaux sont de deux sortes :

1° Les travaux obligatoires, comme l'entretien de l'hôtel de ville, l'installation des bureaux du receveur municipal, des postes d'octroi, des barrières des rues, des poteaux d'octroi, des bureaux de police municipale, l'entretien des bâtiments scolaires et des presbytères, des locaux des conseils de prud'hommes ; la construction, la réparation et l'entretien des chemins vicinaux, etc. ;

2° Les travaux facultatifs : pavage, voirie, canalisation d'eau, éclairage au gaz, fontaines, halles et marchés, lavoirs, assainissement, etc.

Pour tous ces travaux, dont les dépenses totalisées avec les dépenses de même nature de l'exercice suivant ne dépassent pas

les limites des ressources ordinaires et extraordinaires que les communes peuvent se créer sans autorisation, les Conseils municipaux règlent et approuvent définitivement les projets, plans et devis. Il faut excepter les hospices et bâtiments scolaires qui doivent être approuvés par les Ministères auxquels ils ressortissent.

Quand les travaux occasionnent une dépense plus forte ou quand il s'agit de travaux soumis à des lois spéciales (tramways, etc.), c'est le préfet (ou le Conseil d'État pour le cas exceptionnel de communes d'un budget de plus de 3 millions) qui approuve les projets, plans et devis et les rend exécutoires. Dans tous les cas, d'ailleurs, le contrôle du préfet est réservé.

Régie. — Les travaux d'entretien des routes empierrées sont exécutés en régie, c'est-à-dire que l'État traite avec des fournisseurs qui se chargent d'apporter à pied-d'œuvre les matériaux, et qu'ensuite ces matériaux sont employés, sous la direction des ingénieurs des Ponts et Chaussées, par les cantonniers.

On désigne particulièrement sous le nom de *régie*, le système dans lequel l'Administration institue, pour les travaux, un intermédiaire qui gère ses intérêts en qualité de *régisseur*.

La *régie simple* ou *par économie* est la direction d'un travail par un préposé de l'État, ordinairement un conducteur des Ponts et Chaussées, qui tient compte, sous le contrôle des ingénieurs, des dépenses en matériaux, en main-d'œuvre, et qui les fait solder. En vertu du règlement de 1849, les régisseurs-comptables sont obligés de tenir un livret de caisse constatant les avances qui leur ont été faites et les payements qu'ils ont effectués.

Dans la *régie intéressée* le régisseur n'est plus un agent de l'Administration.

La *mise en régie* d'une entreprise se présente quand un entrepreneur n'exécute pas ses obligations.

Entreprise ou marché. — L'entreprise diffère de la régie en ce que l'entrepreneur, qui contracte avec l'Administration, s'engage, moyennant un prix donné et sous certaines conditions, à exécuter un travail.

On distingue les marchés passés à la suite d'une *adjudication publique*, à laquelle les concurrents ont été appelés, et les marchés de *gré à gré*. Au point de vue du fond et de la nature des engagements réciproques, on distingue les *marchés à forfait* ou *en bloc*, les *marchés sur série de prix*, les *marchés* dits *à l'unité de mesure*.

Concession. — C'est un troisième mode d'exécution des travaux publics: c'est un contrat par lequel une ou plusieurs personnes s'engagent à exécuter un travail à la condition d'être rémunérées par la perception d'une rétribution imposée, pour un temps plus ou moins long, aux particuliers qui profitent du travail.

Marché à forfait ou en bloc. — Dans ce marché l'Administra- on fixe l'ouvrage à exécuter, et l'entrepreneur s'engage à l'exécuter moyennant un prix invariable, quelles que soient les circonstances qui surviennent et sans qu'on ait à faire aucun mesurage.

Marché sur série de prix. — Dans ce marché le devis indique les prix de chaque nature d'ouvrage : maçonnerie, terrassement, etc., sans fixer le total auquel on devra s'arrêter. Puis, quand le travail est fini, on paye d'après le métré des travaux exécutés. Ce système ne limite pas les engagements de l'entrepreneur ni les dépenses de l'Administration. C'est le mode usité dans le service du Génie militaire. Il est employé souvent pour les grands travaux des Compagnies de chemins de fer et pour certains travaux en rivière.

Marché dit à l'unité de mesure. — Ce marché est usité pour travaux neufs. On y fixe la série des prix de chaque ouvrage et la quantité des ouvrages à exécuter, tout en réservant à l'Administration le droit d'augmenter, dans une proportion donnée, la quantité des ouvrages.

Pièces contenant les conventions des marchés de travaux publics passés entre l'État et les entrepreneurs. — Il y a d'abord le *cahier des clauses et conditions générales*, lequel s'applique à toutes les entreprises. Chaque service public, Ponts et Chaussées, Palais nationaux, Bâtiments civils, Génie et Artillerie, Marine, a un cahier des clauses et conditions générales.

Les conditions particulières de chaque entreprise au point de vue technique et au point de vue du prix sont indiquées d'une part dans le *devis* ou *cahier des charges*, d'autre part dans le *bordereau des prix*. On y joint quelquefois un *avant-métré* et un *détail estimatif*.

Clauses et conditions générales imposées aux entrepreneurs des travaux des Ponts et Chaussées

(ARRÊTÉ DU 16 FÉVRIER 1892)

TITRE I. — ADJUDICATIONS

ART. 2. — *Conditions à remplir pour être admis aux adjudications.* — Nul n'est admis à concourir aux adjudications s'il ne justifie qu'il a les qualités requises pour garantir la bonne exécution des travaux.

A cet effet, chaque concurrent est tenu de fournir un certificat constatant sa capacité et de présenter un acte régulier de cautionnement.

ART. 3. — *Certificats de capacité.* — Les certificats de capacité sont délivrés par des hommes de l'art. Ils ne doivent pas avoir plus de 3 ans de date.

Il est fait mention de la manière dont les soumissionnaires ont rempli leurs engagements dans les travaux qu'ils ont exécutés, surveillés ou suivis.

Ces travaux doivent avoir été faits dans les 10 dernières années et exécutés sous la direction de l'homme de l'art qui a délivré le certificat.

Les certificats de capacité sont présentés 8 jours avant l'adjudication à l'ingénieur en chef, qui doit les viser. Ils sont accompagnés d'une note indiquant les travaux exécutés par le soumissionnaire depuis qu'ils ont été délivrés.

Il n'est pas exigé de certificats de capacité pour la fourniture des matériaux destinés à l'exécution des routes en empierrement, ni pour les travaux de terrassement dont l'estimation ne s'élève pas à plus de 20.000 francs.

Art. 4. — *Cautionnement.* — A défaut de stipulations particulières dans le cahier des charges, le montant en est fixé, pour le cautionnement provisoire, au *soixantième*, et pour le cautionnement définitif au *trentième* de l'estimation des travaux, déduction faite de toutes les sommes portées à valoir pour dépenses imprévues et ouvrages en régie.

Le cautionnement définitif est constitué dans le département où se fait l'adjudication et doit être réalisé dans les 20 jours qui suivent la notification de l'approbation du marché.

Il reste affecté à la garantie des engagements contractés par l'adjudicataire jusqu'à la réception définitive des travaux. Toutefois le Ministre peut, dans le cours de l'entreprise, autoriser la restitution de tout ou partie du cautionnement.

Art. 5. — *Approbation de l'adjudication.* — L'adjudication n'est valable qu'après l'approbation de l'autorité compétente. L'entrepreneur ne peut prétendre à aucune indemnité dans le cas où l'adjudication n'est pas approuvée.

Si l'approbation du marché n'a pas été notifiée à l'adjudicataire dans un délai de 30 jours, à partir de la date du procès-verbal de l'adjudication, l'adjudicataire sera libre de renoncer à l'entreprise et il lui sera donné mainlevée de son cautionnement.

Art. 6. — *Pièces à délivrer à l'entrepreneur.* — Aussitôt après l'approbation de l'adjudication, le préfet délivre à l'entrepreneur, sur son récépissé, une expédition, vérifiée par l'ingénieur en chef et dûment légalisée, du devis, du bordereau des prix, du détail estimatif et des autres pièces qui seraient expressément désignées dans le devis comme servant de base au marché, ainsi qu'une copie certifiée du procès-verbal d'adjudication et un exemplaire imprimé des présentes clauses et conditions générales.

Art. 7. — *Frais d'adjudication.* — L'entrepreneur acquitte les droits auxquels pourra donner lieu l'enregistrement de son marché, tels que ces droits résulteront des lois et règlements en vigueur.

Il paye, en outre, les droits de timbre et d'expédition du devis, du bordereau des prix, du détail estimatif et des autres pièces expressément désignées dans le devis, ainsi que du procès-verbal d'adjudication.

Art. 8. — *Domicile de l'entrepreneur.* — L'entrepreneur est tenu d'élire un domicile à proximité des travaux.

TITRE II. — Exécution des travaux

Art. 9. — *Défense de sous-traiter sans autorisation.* — L'entrepreneur ne peut céder à des sous-traitants une ou plusieurs parties de son entreprise sans le consentement de l'Administration.

Dans tous les cas il demeure responsable, tant envers l'Administration qu'envers les ouvriers et les tiers.

Si un sous-traité est passé sans autorisation, l'Administration peut soit prononcer la résiliation de l'entreprise, soit procéder à une nouvelle adjudication à la folle enchère de l'entrepreneur.

Art. 10. — *Ordres de service pour l'exécution des travaux.* — L'entrepreneur doit commencer les travaux dès qu'il en a reçu l'ordre de l'ingénieur.

Il reçoit gratuitement de l'ingénieur, au cours de l'entreprise, une expédition certifiée de chacun des dessins de détail et autres documents nécessaires à l'exécution des travaux.

Il se conforme strictement aux plans, profils, tracés, ordres de service et, s'il y a lieu, aux types et modèles qui lui sont donnés par l'ingénieur ou par ses préposés, en exécution du devis.

L'entrepreneur se conforme également aux changements qui lui sont prescrits pendant le cours du travail, mais seulement lorsque l'ingénieur les a donnés par écrit et sous sa responsabilité.

Lorsque l'entrepreneur estime que les prescriptions d'un ordre de service dépassent les obligations de son marché, il doit, sous peine de forclusion, en présenter l'observation écrite et motivée dans un délai de 10 jours. La réclamation ne suspend pas l'exécution de l'ordre de service, à moins qu'il n'en soit autrement ordonné par l'ingénieur.

Art. 11. — *Police des chantiers.* — L'entrepreneur est tenu d'observer tous les règlements qui sont faits par le préfet, sur la proposition de l'ingénieur en chef, pour la police des chantiers.

Il est interdit à l'entrepreneur de faire travailler les ouvriers les dimanches et jours fériés.

Il ne peut être dérogé à cette règle que dans les cas d'urgence et en vertu d'une autorisation écrite ou d'un ordre de service de l'ingénieur.

Art. 12. — *Présence de l'entrepreneur.* — Pendant la durée de l'entreprise, l'adjudicataire ne peut s'éloigner du lieu des travaux qu'après avoir fait agréer par l'ingénieur un représentant capable de le remplacer.

Art. 13. — *Choix des commis, chefs d'atelier et ouvriers.* — L'ingénieur a le droit d'exiger le changement ou le renvoi des agents et ouvriers de l'entrepreneur pour insubordination, incapacité ou défaut de probité.

L'entrepreneur demeure responsable des fraudes ou malfaçons qui seraient commises par ses agents et ouvriers.

Art. 14. — *Liste nominative des ouvriers.* — Il est remis périodiquement à l'ingénieur une liste nominative des ouvriers.

Art. 15. — *Payement des ouvriers.* — L'entrepreneur paye ses ouvriers tous les mois ou à des époques plus rapprochées, si l'Administration le juge nécessaire.

En cas de retard, l'Administration se réserve la faculté de payer les salaires arriérés, sur les sommes dues à l'entrepreneur, sans préjudice des droits réservés par la loi du 26 pluviôse an II aux fournisseurs qui auraient fait des oppositions régulières.

Art. 16. — *Secours aux ouvriers blessés ou malades.* — Pour le fonctionnement du service médical et l'allocation de secours aux ouvriers atteints de blessures ou de maladies occasionnées par les travaux, à

leurs veuves et à leurs enfants, l'entrepreneur est soumis aux retenues et autres obligations qui résultent soit des lois, soit des décrets et arrêtés ministériels en vigueur au moment de l'adjudication.

La partie de ces retenues qui reste sans emploi à la fin de l'entreprise est remise à l'entrepreneur.

Art. 17. — *Dépenses imputables sur la somme à valoir.* — S'il y a lieu de faire des épuisements ou autres travaux dont la dépense soit imputable sur la somme à valoir, l'entrepreneur doit, s'il en est requis, fournir, dans les limites prévues au devis, les outils et machines nécessaires pour l'exécution de ces travaux.

Le loyer et l'entretien de ce matériel lui seront payés aux prix de l'adjudication.

Art. 18. — *Outils, équipages et faux frais.* — L'entrepreneur est tenu de fournir à ses frais les magasins et équipages, voitures, ustensiles et outils de toute espèce nécessaires à l'exécution des travaux, sauf les exceptions stipulées au devis.

Sont également à sa charge l'établissement des chantiers et chemins de service et les indemnités y relatives, les frais de tracé des ouvrages, les cordeaux, piquets et jalons, les frais d'éclairage des chantiers, s'il y a lieu, et généralement toutes les menues dépenses et tous les faux frais relatifs à l'entreprise.

Art. 19. — *Carrières désignées au devis.* — Les matériaux sont pris dans les lieux indiqués au devis.

L'entrepreneur y ouvre, au besoin, des carrières à ses frais.

Il est tenu, avant de commencer les extractions, de prévenir les propriétaires, suivant les formes déterminées par les règlements.

Il paye, sans recours contre l'Administration et en se conformant aux lois et règlements sur la matière, tous les dommages qu'ont pu occasionner la prise ou l'extraction, le transport et le dépôt des matériaux.

Dans le cas où le devis prescrit d'extraire des matériaux dans des bois soumis au régime forestier, l'entrepreneur doit se conformer en outre aux prescriptions de l'article 145 du Code forestier, ainsi que des articles 172, 173 et 175 de l'ordonnance du 1er août 1827.

Art. 20. — *Carrières proposées par l'entrepreneur.* — Si l'entrepreneur demande à substituer aux carrières indiquées dans le devis d'autres carrières fournissant des matériaux d'une qualité que les ingénieurs reconnaissent au moins égale, il reçoit l'autorisation d'employer ces matériaux, et ne subit sur les prix de l'adjudication aucune réduction pour cause de diminution des frais d'extraction, de transport et de taille des matériaux.

A défaut d'accord avec les propriétaires des nouvelles carrières, il peut aussi obtenir l'autorisation de les exploiter.

Art. 21. — *Défense de livrer au commerce les matériaux extraits des carrières désignées.* — L'entrepreneur ne peut livrer au commerce, sans l'autorisation du propriétaire, les matériaux qu'il a fait extraire dans les carrières exploitées par lui, en vertu du droit qui lui a été conféré par l'Administration.

Art. 22. — *Qualité des matériaux.* — Les matériaux ne peuvent être employés qu'après avoir été vérifiés par l'ingénieur ou ses préposés. Nonobstant cette acceptation et jusqu'à la réception définitive des travaux, ils peuvent, en cas de surprise, de mauvaise qualité ou de mal-

façon, être rebutés par l'ingénieur, et ils sont alors remplacés par l'entrepreneur.

Art. 23. — *Dimensions et dispositions des matériaux et des ouvrages.* — L'entrepreneur ne peut, de lui-même, apporter aucun changement au projet.

Il est tenu de faire immédiatement, sur l'ordre écrit des ingénieurs, remplacer les matériaux ou reconstruire les ouvrages dont les dimensions ou les dispositions ne sont pas conformes au devis ou aux ordres de service.

Toutefois, si les ingénieurs reconnaissent que les changements faits par l'entrepreneur ne sont contraires ni aux règles de l'art, ni au goût, les nouvelles dispositions peuvent être maintenues, mais alors l'entrepreneur n'a droit à aucune augmentation de prix, à raison des dimensions plus fortes ou de la valeur plus considérable que peuvent avoir les matériaux ou les ouvrages. Dans ce cas les métrages sont basés sur les dimensions prescrites par le devis ou par les ordres de services. Si, au contraire, les dimensions sont plus faibles ou la valeur des matériaux moindre, les prix sont réduits en conséquence.

Art. 24. — *Démolition d'anciens ouvrages.* — Lorsque l'exécution des travaux comporte la démolition d'anciens ouvrages, les matériaux doivent être déplacés avec soin pour qu'ils puissent être façonnés de nouveau et réemployés s'il y a lieu.

Art. 25. — *Objets trouvés dans les fouilles.* — L'Administration se réserve la propriété des matériaux qui se trouvent dans les fouilles et démolitions faites dans les terrains appartenant à l'État, sauf à indemniser l'entrepreneur de ses soins particuliers.

Elle se réserve également les objets d'art et de toute nature qui pourraient s'y trouver, sauf indemnité à qui de droit.

Art. 26. — *Emploi de matières neuves ou de démolition appartenant à l'État.* — Lorsque, en dehors des prévisions du marché, les ingénieurs jugent à propos d'employer des matières neuves ou de démolition appartenant à l'État, l'entrepreneur n'est payé que des frais de main-d'œuvre et d'emploi réglés conformément aux indications de l'article 29 ci-après.

Art. 27. — *Vices de construction.* — Lorsque les ingénieurs présument qu'il existe dans les ouvrages des vices de construction, ils ordonnent, soit en cours d'exécution, soit avant la réception définitive, la démolition et la reconstruction des ouvrages présumés vicieux.

Les dépenses résultant de cette opération sont à la charge de l'entrepreneur lorsque les vices de construction sont constatés et reconnus.

Art. 28. — *Pertes et avaries; cas de force majeure.* — Il n'est alloué à l'entrepreneur aucune indemnité à raison des pertes, avaries ou dommages occasionnés par négligence, imprévoyance, défaut de moyens ou fausses manœuvres.

Ne sont pas compris toutefois dans la disposition précédente les cas de force majeure qui, dans le délai de 10 jours au plus après l'événement, ont été signalés par l'entrepreneur ; dans ce cas, néanmoins, il ne peut rien être alloué qu'avec l'approbation de l'Administration. Passé le délai de 10 jours, l'entrepreneur n'est plus admis à réclamer.

Art. 29. — *Règlements de prix des ouvrages non prévus.* — Lorsqu'il est jugé nécessaire d'exécuter des ouvrages non prévus ou de modifier la provenance des matériaux telle qu'elle est indiquée par le devis, l'entrepreneur se conforme immédiatement aux ordres écrits qu'il reçoit

à ce sujet, et il est préparé sans retard de nouveaux prix d'après ceux du marché ou par assimilation aux ouvrages les plus analogues. Dans le cas d'une impossibilité absolue d'assimilation, on prend pour termes de comparaison les prix courants du pays.

Les nouveaux prix, calculés de manière à être passibles du rabais de l'adjudication, après avoir été débattus par les ingénieurs avec l'entrepreneur, sont soumis à l'approbation de l'Administration.

Si l'entrepreneur n'accepte pas les décisions de l'Administration, il est statué par le Conseil de préfecture.

En attendant la solution du litige, l'entrepreneur est payé, provisoirement, aux prix préparés par les ingénieurs.

Art. 30. — *Augmentation dans la masse des travaux.* — En cas d'augmentation dans la masse des travaux, l'entrepreneur ne peut élever aucune réclamation tant que l'augmentation n'excède pas le sixième du montant de l'entreprise. Si l'augmentation est de plus du sixième, il a droit à la résiliation immédiate de son marché sans indemnité, à la condition toutefois de l'avoir demandée par lettre adressée au préfet dans le délai de 2 mois à partir de la notification de l'ordre de service dont l'exécution entraînerait l'augmentation de plus du sixième. Le tout sauf l'application, s'il y a lieu, de l'article 32 ci-après.

Art. 31. — *Diminution dans la masse des travaux.* — En cas de diminution dans la masse des travaux, l'entrepreneur ne peut élever aucune réclamation tant que la diminution n'excède pas le sixième du montant de l'entreprise, sauf l'application de l'article 32. Si la diminution est de plus du sixième, il reçoit s'il y a lieu, à titre de dédommagement, une indemnité qui, en cas de contestation, est fixée par le Conseil de préfecture, sans préjudice du droit à la résiliation immédiate qui doit être demandée dans la même forme et dans le même délai que ci-dessus.

Art. 32. — *Changement dans l'importance des diverses natures d'ouvrages.* — Lorsque les changements ordonnés ont pour résultat de modifier l'importance de certaines natures d'ouvrages, de telle sorte que les quantités prescrites diffèrent de plus d'un quart en plus ou en moins des quantités portées au détail estimatif, l'entrepreneur peut présenter, en fin de compte, une demande en indemnité basée sur le préjudice que lui auraient causé les modifications apportées à cet égard dans les prévisions du projet.

Art. 33. — *Variations dans les prix.* — Si pendant le cours de l'entreprise les prix subissent une augmentation telle que la dépense totale des ouvrages restant à exécuter d'après le devis se trouve augmentée d'un sixième comparativement aux estimations du projet, l'entrepreneur a droit à la résiliation de son marché, sans indemnité.

Art. 34. — *Cessation absolue ou ajournement des travaux.* — Lorsque l'Administration ordonne la cessation absolue des travaux, l'entreprise est immédiatement résiliée. Lorsqu'elle prescrit leur ajournement pour plus d'une année, soit avant, soit après un commencement d'exécution, l'entrepreneur a droit à la résiliation de son marché s'il la demande, sans préjudice de l'indemnité qui, dans un cas comme dans l'autre, peut lui être allouée, s'il y a lieu.

Si les travaux ont reçu un commencement d'exécution, l'entrepreneur peut requérir qu'il soit procédé immédiatement à la réception provisoire des ouvrages exécutés, puis à leur réception définitive après l'expiration du délai de garantie.

Art. 35. — *Mesures coercitives.* — Lorsque l'entrepreneur ne se conforme pas soit aux dispositions du devis, soit aux ordres de service écrits qui lui sont donnés par les ingénieurs, un arrêté du préfet le met en demeure d'y satisfaire dans un délai déterminé. Ce délai, sauf le cas d'urgence, n'est pas de moins de 10 jours à dater de la notification de l'arrêté de mise en demeure.

Passé ce délai, si l'entrepreneur n'a pas exécuté les dispositions prescrites, le préfet, par un second arrêté, ordonne l'établissement d'une *régie* aux frais de l'entrepreneur. Dans ce cas il est procédé immédiatement, en sa présence ou lui dûment appelé, à l'inventaire descriptif du matériel de l'entreprise.

Il en est aussitôt rendu compte au Ministre, qui peut, selon les circonstances, soit ordonner une nouvelle adjudication à la folle enchère de l'entrepreneur, soit prononcer la résiliation pure et simple du marché, soit prescrire la continuation de la régie.

Pendant la durée de la régie, l'entrepreneur est autorisé à en suivre les opérations, sans qu'il puisse toutefois entraver l'exécution des ordres des ingénieurs.

Il peut d'ailleurs être relevé de la régie, s'il justifie des moyens nécessaires pour reprendre les travaux et les mener à bonne fin.

Les excédents de dépenses qui résultent de la régie ou de l'adjudication sur folle enchère sont prélevés sur les sommes qui peuvent être dues à l'entrepreneur, sans préjudice des droits à exercer contre lui en cas d'insuffisance.

Si la régie ou l'adjudication sur folle enchère amènent, au contraire, une diminution dans les dépenses, l'entrepreneur ne peut réclamer aucune part de ce bénéfice, qui reste acquis à l'Administration.

Art. 36. — *Décès de l'entrepreneur.* — En cas de décès de l'entrepreneur, le contrat est résilié de droit, sauf à l'Administration à accepter, s'il y a lieu, les offres qui peuvent être faites par les héritiers pour la continuation des travaux.

Art. 37. — *Liquidation judiciaire ou faillite de l'entrepreneur.* — En cas de liquidation judiciaire ou de faillite de l'entrepreneur, le contrat est également résilié de plein droit, sauf à l'Administration à accepter, s'il y a lieu, les offres qui peuvent être faites, pour la continuation de l'entreprise, par l'entrepreneur dans le premier cas, et par ses créanciers dans le second.

TITRE III. — Règlement des dépenses

Art. 38. — *Bases du règlement des comptes.* — A défaut de stipulations spéciales dans le devis, les comptes sont établis d'après les quantités d'ouvrages réellement effectuées, suivant les dimensions et les poids constatés par des métrés définitifs et des pesages faits en cours ou en fin d'exécution, sauf les cas prévus par l'article 23, et les dépenses sont réglées d'après les prix de l'adjudication.

L'entrepreneur ne peut, dans aucun cas, pour les métrés et pesages, invoquer en sa faveur les us et les coutumes.

Art. 39. — *Attachements.* — Les attachements sont pris, au fur et à mesure de l'avancement des travaux, par l'agent chargé de la surveillance, en présence de l'entrepreneur et contradictoirement avec lui ; celui-ci doit les signer au moment de la présentation qui lui en est faite.

Lorsque l'entrepreneur refuse de signer ces attachements ou ne les signe qu'avec réserve, il lui est accordé un délai de 10 jours à dater de la présentation des pièces pour formuler par écrit ses observations. Passé ce délai, les attachements sont censés acceptés par lui, comme s'ils étaient signés sans réserve.

Dans le cas de refus de signature ou de signature avec réserves, il est dressé procès-verbal de la présentation et des circonstances qui l'ont accompagnée. Ce procès-verbal est annexé aux pièces non acceptées.

Les résultats des attachements inscrits sur les carnets ne sont portés en compte qu'autant qu'ils ont été admis par les ingénieurs.

Art. 40. — *Décomptes mensuels.* — A la fin de chaque mois, il est dressé un décompte provisoire des ouvrages exécutés et des dépenses faites, pour servir de base aux payements à faire à l'entrepreneur.

Art. 41. — *Décomptes annuels et décomptes définitifs.* — A la fin de chaque année, il est dressé un décompte de l'entreprise que l'on divise en deux parties : la première comprend les ouvrages et portions d'ouvrages dont le métré a pu être arrêté définitivement ; et la seconde, les ouvrages ou portions d'ouvrages dont la situation n'a pu être établie que d'une manière provisoire.

L'entrepreneur est invité, par un ordre de service dûment notifié, à venir prendre connaissance, dans les bureaux de l'ingénieur, de ce décompte auquel sont joints les métrés et les pièces à l'appui, et à le signer pour acceptation ; procès-verbal est dressé de la présentation qui lui en est faite et des circonstances qui l'ont accompagnée.

L'entrepreneur, indépendamment de la communication qui lui est faite de ces pièces sans déplacement, est en outre autorisé à faire transcrire par ses commis, dans les bureaux de l'ingénieur, celles dont il veut se procurer des expéditions.

En ce qui concerne la première partie du décompte, l'acceptation de l'entrepreneur est définitive, tant pour les quantités d'ouvrages que pour l'application des prix. S'il refuse d'accepter ou s'il ne signe qu'avec réserves, il doit déduire ses motifs par écrit dans les 30 jours qui suivent la notification de l'ordre de service mentionné au paragraphe 2.

Il est expressément stipulé que l'entrepreneur n'est point admis à élever de réclamations au sujet des pièces ci-dessus indiquées après ledit délai de 30 jours, et que, passé ce délai, le décompte est censé accepté par lui, quand bien même il ne l'aurait signé qu'avec des réserves dont les motifs ne seraient pas spécifiés.

Le procès-verbal de présentation doit toujours être annexé aux pièces non acceptées.

En ce qui concerne la deuxième partie du décompte, l'acceptation de l'entrepreneur n'est considérée que comme provisoire.

Les stipulations des paragraphes 2, 3, 4, 5, 6 et 7 du présent article s'appliquent aux décomptes définitifs partiels qui peuvent être présentés à l'entrepreneur dans le courant de la campagne.

Elles s'appliquent aussi au décompte général et définitif de l'entreprise, à l'exception du délai des réclamations qui est porté à 40 jours.

Art. 42. — *L'entrepreneur ne peut revenir sur les prix du marché.* — L'entrepreneur ne peut, sous aucun prétexte, revenir sur les prix du marché qui ont été consentis par lui.

Art. 43. — *Reprise du matériel en cas de résiliation.* — Dans les cas

de résiliation prévus par les articles 34 et 36, les outils et équipages existant sur les chantiers et qui eussent été nécessaires pour l'achèvement des travaux sont acquis par l'État, si l'entrepreneur ou ses ayants droit en font la demande, et le prix en est réglé de gré à gré ou à dire d'experts.

Ne sont pas comprises dans cette mesure les bêtes de trait ou de somme qui auraient été employées dans les travaux.

La reprise du matériel est facultative pour l'Administration dans les cas prévus par les articles 9, 30, 33, 35 et 37.

Dans tous les cas de résiliation l'entrepreneur est tenu d'évacuer les chantiers, magasins et emplacements utiles à l'entreprise dans le délai qui est fixé par l'Administration.

Les matériaux approvisionnés par ordre et déposés sur les chantiers, s'ils remplissent les conditions du devis, sont acquis par l'État aux prix de l'adjudication ou à ceux résultant de l'application de l'article 29 ci-dessus.

Les matériaux qui ne sont pas déposés sur les chantiers ne sont pas portés en compte, à moins de stipulations spéciales inscrites dans le devis de l'entreprise.

TITRE IV. — Payements

Art. 44. — *Payements d'acomptes.* — Les payements d'acomptes s'effectuent tous les mois, en raison de la situation des travaux exécutés, sauf *retenue d'un dixième pour garantie* et de la quotité résultant de l'application de l'article 16 ci-dessus.

Il est, en outre, délivré des acomptes sur le prix des matériaux approvisionnés jusqu'à concurrence des quatre cinquièmes de leur valeur.

Le tout sous la réserve énoncée à l'article 49 ci-après, et sauf le payement des acomptes à des époques plus rapprochées, en vertu soit de l'article 6 du décret du 4 juin 1888, fixant les conditions exigées des sociétés d'ouvriers français pour soumissionner aux adjudications de l'État, soit des autres exceptions qui pourraient résulter des lois et décrets en vigueur.

Art. 45. — *Maximum de la retenue.* — Si la retenue du dixième est jugée excéder la proportion nécessaire pour la garantie de l'entreprise, il peut être stipulé au devis ou décidé en cours d'exécution qu'elle cessera de s'accroître lorsqu'elle aura atteint un maximum déterminé.

Art. 46. — *Réception provisoire.* — Immédiatement après l'achèvement des travaux, il est procédé à une réception provisoire par l'ingénieur ordinaire, en présence de l'entrepreneur ou lui dûment appelé par écrit. En cas d'absence de l'entrepreneur, il en est fait mention au procès-verbal.

Art. 47. — *Réception définitive.* — Il est procédé de la même manière à la réception définitive après l'expiration du délai de garantie.

A défaut de stipulation expresse dans le devis, ce délai est de 6 mois à dater de la réception provisoire pour les travaux d'entretien, les terrassements et les chaussées d'empierrement, et de 1 an pour les ouvrages d'art.

Pendant la durée de ce délai, l'entrepreneur demeure responsable de ses ouvrages et est tenu de les entretenir.

Art. 48. — *Payement de la retenue de garantie.* — La retenue de garantie de l'entreprise n'est payée à l'entrepreneur qu'après la réception

définitive et lorsqu'il a justifié de l'accomplissement des obligations énoncées dans l'article 19.

Si l'entrepreneur n'a pas fourni cette justification au moment de la réception définitive, la retenue de garantie est déposée en tout ou en partie à la Caisse des Dépôts et Consignations, pour n'être ensuite délivrée à l'entrepreneur que sur le vu d'un certificat de l'ingénieur en chef constatant que les prescriptions énoncées au paragraphe précédent ont été remplies.

Art. 49. — *Intérêt pour retard de payement.* — Les payements ne pouvant être faits qu'au fur et à mesure des fonds disponibles, il ne sera jamais alloué d'indemnités, sous aucune dénomination, pour retard de payement pendant l'exécution des travaux.

Toutefois, si l'entrepreneur ne peut être entièrement soldé dans les 3 mois qui suivent la réception définitive régulièrement constatée, il a droit, à partir de l'expiration de ce délai, à des intérêts calculés d'après le taux légal pour la somme qui lui est due.

TITRE V. — Contestations

Art. 50. — *Intervention de l'ingénieur en chef.* — Si, dans le cours de l'entreprise, des difficultés s'élèvent entre l'ingénieur ordinaire et l'entrepreneur, il en est référé à l'ingénieur en chef.

Art. 51. — *Intervention de l'Administration.* — En cas de contestation avec les ingénieurs, l'entrepreneur doit adresser au préfet, pour être transmis avec l'avis des ingénieurs à l'Administration, un mémoire où il indique les motifs et le montant de ses réclamations.

Si, dans le délai de 3 mois à partir de la remise du mémoire au préfet, l'Administration n'a pas fait connaître sa réponse, l'entrepreneur peut, comme dans le cas où ses réclamations ne seraient pas admises, saisir desdites réclamations la juridiction contentieuse. Il n'est admis à porter devant cette juridiction que les griefs énoncés dans le mémoire remis au préfet.

Si dans le délai de 6 mois à dater de la notification de la décision ministérielle intervenue sur les réclamations auxquelles aura donné lieu le décompte général et définitif de l'entreprise, l'entrepreneur n'a pas porté ces réclamations devant le tribunal compétent, il sera considéré comme ayant adhéré à ladite décision, et toute réclamation se trouvera éteinte.

Art. 52. — *Jugement des contestations.* — Conformément aux dispositions de la loi du 28 pluviôse an VIII, toute difficulté entre l'Administration et l'entrepreneur concernant le sens ou l'exécution des clauses du marché est portée devant le Conseil de préfecture qui statue, sauf recours au Conseil d'État.

Le *devis ou cahier des charges* indique l'objet du marché, la nature du travail, les délais de l'exécution, la qualité et les provenances des matériaux et la manière de mesurer les ouvrages.

Le *bordereau des prix* indique les prix alloués à l'entrepreneur. Il comprend le *bordereau des prix* proprement dits, qui indique les *prix d'application*, c'est-à-dire, par exemple, le prix d'un mètre cube de maçonnerie de moellon ou de pierre de taille ; puis le *sous-détail*, qui contient des renseignements sur la compo-

sition des prix portés au bordereau, à savoir : pour 1 mètre cube de maçonnerie, le prix de la pierre, du mortier ; le salaire des ouvriers employés à la taille de la pierre, à la pose ; le bénéfice de l'entrepreneur.

Le *détail estimatif* est le résumé de l'avant-métré et du bordereau ; les quantités de l'avant-métré y sont relatées, additionnées, et chaque total, multiplié par le prix de l'unité, indiqué par le bordereau, donne la somme de la dépense de chaque partie d'ouvrage.

L'*avant-métré* contient l'évaluation des quantités d'ouvrages que l'Administration se propose de faire exécuter. Il peut arriver que, pour les travaux dont le mesurage effectif est difficile, le devis stipule que les chiffres du cube des déblais et remblais et de la distance des transports, portés à l'avant-métré, seront considérés comme exacts.

La circulaire du Ministre des Travaux publics du 10 juillet 1858 a décidé que c'est la première partie du bordereau des prix qui fait loi pour le prix ; pour les conditions de l'exécution des travaux, c'est le devis ou cahier des charges. Les indications du bordereau des prix relativement à la quantité de mortier à employer dans un mètre cube de maçonnerie ne peuvent prévaloir sur les dispositions du devis, d'après lesquelles les maçonneries doivent être exécutées à plein bain de mortier.

Adjudications et marchés passés au nom de l'État

(DÉCRET DU 18 NOVEMBRE 1882)

ART. 1er. — Les marchés de travaux, fournitures ou transports au compte de l'État sont faits avec concurrence et publicité, sauf les exceptions mentionnées à l'article 18.

ART. 2. — L'avis des adjudications à passer est public, sauf les cas d'urgence, au moins 20 jours à l'avance, par la voie des affiches et par tous les moyens ordinaires de publicité.

Il est procédé à l'adjudication en séance publique.

ART. 4. — Les cahiers des charges déterminent l'importance des garanties pécuniaires à produire :

Par les soumissionnaires, à titre de cautionnements provisoires, pour être admis aux adjudications ;

Par les adjudicataires, à titre de cautionnements définitifs, pour répondre de leurs engagements.

Les cahiers des charges peuvent, s'il y a lieu, dispenser de l'obligation de déposer un cautionnement provisoire ou définitif. Ils peuvent disposer que le cautionnement réalisé avant l'adjudication, à titre provisoire, servira de cautionnement définitif.

ART. 5. — Les garanties pécuniaires peuvent consister, au choix des soumissionnaires et adjudicataires : 1° en numéraire ; 2° en rentes sur l'État et valeurs du Trésor au porteur ; 3° en rentes sur l'État nominatives ou mixtes. Les valeurs du Trésor transmissibles par voie d'endossement, endossées en blanc, sont considérées comme valeur au porteur.

Art. 10. — La Caisse des Dépôts et Consignations restitue les cautionnements provisoires au vu de la mainlevée donnée par le fonctionnaire chargé de l'adjudication, ou d'office aussitôt après la réalisation du cautionnement définitif de l'adjudicataire.

Les cautionnements définitifs ne peuvent être restitués en totalité ou en partie qu'en vertu d'une mainlevée donnée par le Ministre ou le fonctionnaire délégué à cet effet.

Art. 12. — L'application des cautionnements définitifs à l'extinction des débats liquidés par les Ministres compétents a lieu aux poursuites et diligences de l'agent judiciaire du Trésor public, en vertu d'une contrainte délivrée par le Ministre des Finances.

Art. 13. — Les soumissions placées sous enveloppes cachetées sont remises en séance publique.

Toutefois les cahiers des charges peuvent autoriser ou prescrire l'envoi des soumissions par lettres recommandées ou leur dépôt dans une boîte à ce destinée : ils fixent le délai pour cet envoi ou ce dépôt.

Lorsqu'un *maximum de prix* ou un *minimum de rabais* a été arrêté par le Ministre ou par le fonctionnaire qu'il a délégué, le montant de ce maximum ou de ce minimum est indiqué dans un pli cacheté déposé sur le bureau à l'ouverture de la séance.

Les plis renfermant les soumissions sont ouverts en présence du public, il en est donné lecture à haute voix.

Art. 14. — Dans le cas où plusieurs soumissionnaires offriraient le même prix et où ce prix serait le plus bas de ceux portés dans les soumissions, il est procédé à une réadjudication soit sur de nouvelles soumissions, soit à l'extinction des feux, entre ces soumissionnaires seulement.

Si les soumissionnaires se refusaient à faire de nouvelles offres ou si les prix ne différaient pas encore, le sort déciderait.

Art. 15. — Les résultats de chaque adjudication sont constatés par un procès-verbal relatant toutes les circonstances de l'opération.

Art. 16. — Il peut être fixé par le cahier des charges un délai pour recevoir des offres de rabais sur le prix de l'adjudication. Si, pendant ce délai, qui ne doit pas dépasser 20 jours, il est fait une ou plusieurs offres de rabais d'au moins 10 0/0, il est procédé à une réadjudication entre le premier adjudicataire et l'auteur ou les auteurs des offres de rabais, pourvu qu'ils aient, préalablement à leurs offres, satisfait aux conditions imposées par le cahier des charges pour pouvoir se présenter aux adjudications.

Art. 17. — Sauf les exceptions spécialement autorisées ou résultant des dispositions particulières à certains services, les adjudications ou réadjudications sont subordonnées à l'approbation du Ministre et ne sont valables et définitives qu'après cette approbation. Les exceptions spécialement autorisées doivent être relatées dans le cahier des charges.

Art. 18. — Il peut être passé des *marchés de gré à gré :*

1° Pour les fournitures, transports et travaux dont la dépense totale n'excède pas 20.000 francs, ou, s'il s'agit d'un marché passé pour plusieurs années, dont la dépense annuelle n'excède pas 5.000 francs ;

2° Pour toute espèce de fournitures, de transports ou de travaux, lorsque les circonstances exigent que les opérations du Gouvernement soient tenues secrètes ; ces marchés doivent préalablement avoir été

autorisés par le Président de la République, sur un rapport spécial du Ministre compétent ;

3° Pour les objets dont la fabrication est exclusivement attribuée à des porteurs de brevet d'invention ;

4° Pour les objets qui n'auraient qu'un possesseur unique ;

5° Pour les ouvrages et objets d'art et de précision dont l'exécution ne peut être confiée qu'à des artistes ou industriels éprouvés ;

6° Pour les travaux, exploitations, fabrications et fournitures qui ne sont faits qu'à titre d'essai ou d'étude ;

7° Pour des travaux que des nécessités de sécurité publique empêchent de faire exécuter par voie d'adjudication ;

8° Pour les objets, matières ou denrées qui, à raison de leur nature particulière et de la spécialité de l'emploi auquel ils sont destinés, doivent être achetés et choisis aux lieux de production ;

9° Pour les fournitures, transports ou travaux qui n'ont été l'objet d'aucune offre aux adjudications ou à l'égard desquels il n'a été proposé que des prix inacceptables ; toutefois, lorsque l'Administration a cru devoir arrêter et faire connaître un maximum de prix, elle ne doit pas dépasser ce maximum ;

10° Pour les fournitures, transports ou travaux qui, dans les cas d'urgence évidente amenée par des circonstances imprévues, ne peuvent pas subir les délais des adjudications ;

11° Pour les fournitures, ou transports ou travaux que l'Administration doit faire exécuter aux lieu et place des adjudicataires défaillants et à leurs risques et périls.

Art. 19. — Les marchés de gré à gré sont passés par les Ministres ou par les fonctionnaires qu'ils ont délégués à cet effet. Ils ont lieu :

1° Soit par un engagement souscrit à la suite du cahier des charges ;

2° Soit sur une soumission souscrite par celui qui propose de traiter.

3° Sur correspondance, suivant les usages du commerce.

Art. 22. — Il peut être suppléé aux marchés écrits par des achats sur simple facture, pour les objets qui doivent être livrés immédiatement, quand la valeur de chacun n'excède pas 15.000 francs.

La dispense de marché s'étend aux travaux ou transports dont la valeur présumée n'excède pas 1.500 francs, et qui peuvent être exécutés sur simple mémoire.

Art. 23. — Les dispositions du présent décret, concernant les adjudications publiques et les marchés de gré à gré, ne sont pas applicables aux travaux que l'Administration est dans la nécessité d'exécuter en régie, soit à la journée, soit à la tâche.

L'exécution en *régie* est autorisée par le Ministre ou par son délégué.

Les fournitures de matériaux nécessaires à l'exécution en régie sont néanmoins soumises, sauf les cas de force majeure, aux dispositions des articles 1er à 22.

Art. 24. — Les travaux neufs exécutés par voie d'entreprise pour les bâtiments de l'État ne peuvent avoir lieu qu'après l'approbation des devis qui en déterminent la nature et l'importance.

Formes à suivre dans l'adjudication des travaux

(ORDONNANCE DU 10 MAI 1829)

Art. 9. — Les adjudications relatives aux travaux dépendant de l'Administration des Ponts et Chaussées auront lieu à l'avenir sur un

seul concours et par voie de soumissions cachetées. Le délai du concours sera au moins d'un mois. Toutefois il pourra être réduit dans les cas d'urgence, et avec l'autorisation du directeur général des Ponts et Chaussées.

Art. 10. — Nul ne sera admis à concourir, s'il n'a les qualités requises pour entreprendre les travaux et en garantir le succès; à cet effet, chaque concurrent sera tenu de fournir un certificat constatant sa capacité, et de présenter un acte régulier ou au moins une promesse valable de cautionnement. Ce certificat et cet acte ou promesse seront joints à la soumission, mais celle-ci sera placée sous un second cachet. Il ne sera pas exigé de certificat de capacité pour la fourniture des matériaux destinés à l'entretien des routes; ni pour les travaux de terrassement dont l'estimation ne s'élèvera pas à plus de 15.000 francs.

Art. 11. — Les paquets seront reçus cachetés par le préfet, le Conseil de préfecture assemblé, en présence de l'ingénieur en chef. Ils seront immédiatement rangés sur le bureau, et recevront un numéro dans l'ordre de leur présentation.

Art. 12. — A l'instant fixé pour l'ouverture des paquets, le premier cachet sera rompu publiquement ; il sera dressé un état des pièces contenues sous ce premier cachet. L'état dressé, les concurrents se retireront de la salle d'adjudication, et le préfet, après avoir consulté les membres du Conseil de préfecture et l'ingénieur en chef, arrêtera la liste des concurrents agréés.

Art. 13. — Immédiatement après, la séance redeviendra publique; le préfet annoncera sa décision. Les soumissions seront alors ouvertes publiquement, et le soumissionnaire qui aura fait l'offre d'exécuter les travaux aux conditions les plus avantageuses sera déclaré adjudicataire.

Art. 14. — Néanmoins, si les prix de la soumission excédaient ceux du projet approuvé, le préfet surseoirait à l'adjudication : il en rendrait compte au directeur général des Ponts et Chaussées, qui lui transmettrait des instructions conformes aux circonstances.

Art. 15. — Lorsqu'un certificat de capacité n'aura pas été admis, la soumission qui l'accompagnera ne sera pas ouverte.

Art. 16. — Toute soumission qui ne sera pas exactement conforme au modèle adopté sera réputée nulle et non avenue.

Art. 17. — Il sera dressé pour chaque adjudication un procès-verbal de toutes les opérations ci-dessus indiquées. Une copie de ce procès-verbal sera transmise immédiatement, avec les pièces qui devront l'accompagner, au directeur général des Ponts et Chaussées, dont l'approbation sera nécessaire pour rendre l'adjudication valable et définitive. — Toutefois, ainsi qu'il a été dit ci-dessus, les adjudications relatives aux travaux d'entretien et de réparations ordinaires *deviendront valables et définitives par la seule approbation du préfet* [1].

Art. 18. — Nonobstant les dispositions qui précèdent, et lorsque la dépense des travaux n'excédera pas 5.000 francs, le préfet pourra, dans les cas urgents, recevoir des soumissions isolées et sans concours.

Art. 19. — Dans certaines circonstances, et lorsqu'il ne s'agira que de travaux d'entretien ou de réparations ordinaires, ou de travaux neufs dont la dépense n'excédera pas 15.000 francs, le préfet pourra déléguer

[1] La circulaire du 18 février 1892 a confirmé ce paragraphe, en indiquant que c'est au préfet qu'il appartient d'approuver l'adjudication.

au sous-préfet la faculté de passer l'adjudication au chef-lieu de la sous-préfecture. Le sous-préfet suivra les formes et les dispositions ci-dessus indiquées ; il sera assisté du maire du chef-lieu de la sous-préfecture, de deux membres du Conseil d'arrondissement et d'un ingénieur ordinaire.

Art. 20. — Le montant du cautionnement n'excédera pas le trentième de l'estimation des travaux, déduction faite de toutes les sommes portées à valoir pour cas imprévus, indemnités de terrains, ouvrages en régie. Ce cautionnement sera mobilier ou immobilier, à la volonté des soumissionnaires. Les valeurs mobilières ne pourront être que des effets publics ayant cours sur la place.

Travaux communaux

(ORDONNANCE DU 14 NOVEMBRE 1837)

Art. 1er. — Toutes les entreprises pour travaux et fournitures au nom des communes et des établissements de bienfaisance seront données avec concurrence et publicité, sauf les exceptions ci-après.

Art. 2. — Il pourra être traité de gré à gré, sauf approbation, par le préfet, pour les travaux et fournitures dont la valeur n'excédera pas 3.000 francs. Il pourra également être traité de gré à gré, à quelque somme que s'élèvent les travaux et fournitures, mais avec l'approbation du Ministre de l'Intérieur :

1° Pour les objets dont la fabrication est exclusivement attribuée à des porteurs de brevet d'invention ou d'importation ;

2° Pour les objets qui n'auraient qu'un possesseur unique ;

3° Pour les ouvrages et les objets d'art et de précision dont l'exécution ne peut être confiée qu'à des artistes éprouvés ;

4° Pour les exportations, fabrications et fournitures qui ne seraient faites qu'à titre d'essais ;

5° Pour les matières et denrées qui, à raison de leur nature particulière et de la spécialité de l'emploi auquel elles sont destinées, doivent être achetées et choisies aux lieux de production, ou livrées, sans intermédiaire, par les producteurs eux-mêmes ;

6° Pour les fournitures et travaux qui n'auraient été l'objet d'aucune offre aux adjudications, ou à l'égard desquels il n'aurait été proposé que des prix inacceptables ; toutefois l'Administration ne devra pas dépasser le maximum arrêté conformément à l'article 7 ;

7° Pour les fournitures et travaux qui, dans les cas d'urgence absolue dûment constatés, amenés par des circonstances imprévues, ne pourraient pas subir les délais des adjudications.

Art. 4. — Les cahiers des charges détermineront la nature et l'importance des garanties que les fournisseurs ou entrepreneurs auront à produire, soit pour être admis aux adjudications, soit pour répondre de l'exécution de leurs engagements.

Art. 5. — Les cautionnements à fournir par les adjudicataires seront réalisés à la diligence des receveurs des communes et des établissements de bienfaisance.

Art. 6. — L'avis des adjudications à passer sera publié, sauf les cas d'urgence, un mois à l'avance, par la voie des affiches et par tous les moyens ordinaires de publicité.

Art. 7. — Les soumissions devront toujours être remises cachetées en séance publique. Un *maximum* ou *minimum* de prix de rabais, arrêté

d'avance par l'autorité qui procède à l'adjudication, devra être déposé cacheté sur le bureau à l'ouverture de la séance.

Art. 8. — Dans le cas où plusieurs soumissionnaires auraient offert le même prix, il sera procédé, séance tenante, à une adjudication entre les soumissionnaires seulement, soit sur de nouvelles soumissions, soit à extinction des feux.

Art. 9. — Les résultats de chaque adjudication seront constatés par un procès-verbal relatant toutes les circonstances de l'opération.

Art. 10. — Les adjudications *seront toujours subordonnées à l'approbation du préfet*, et ne seront valables et définitives, à l'égard des communes et des établissements, qu'après cette approbation.

Tâcheron et sous-traitant. — L'entrepreneur cède souvent à un prix convenu, et avec l'autorisation du directeur des travaux, la main-d'œuvre de quelques parties du travail de terrasse ou de maçonnerie à un chef d'atelier, qui l'exécute pour son propre compte, et que l'on désigne sous le nom de *tâcheron*.

Parfois aussi l'entrepreneur se fait autoriser à céder, moyennant une remise sur les prix de son marché, l'exécution complète de certains travaux, y compris la fourniture des matériaux, à un *sous-entrepreneur* ou *sous-traitant*.

Privilège des ouvriers et fournisseurs. — Aux termes du décret des 26 pluviôse et 28 ventôse an II, les créanciers particuliers des entrepreneurs et adjudicataires des ouvrages faits, ou à faire pour le compte de l'Etat, ne peuvent opérer aucune saisie-arrêt ni opposition sur les fonds déposés dans les caisses des receveurs pour être délivrés auxdits entrepreneurs ou adjudicataires ; mais ne sont pas comprises sous le coup de cette disposition les créances provenant des salaires des ouvriers employés par ces entrepreneurs, et les sommes dues par eux pour fournitures de matériaux et autres objets servant à la construction des ouvrages.

Cette disposition, qui consacre un privilège en faveur des ouvriers et fournisseurs, et d'eux seuls, ne doit pas être interprétée en ce sens que les oppositions formées par les autres créanciers sont nulles absolument et vis-à-vis de tous autres, mais en ce sens que ces oppositions, sans efficacité vis-à-vis des ouvriers et fournisseurs, reprendront leur valeur juridique vis-à-vis de tous autres créanciers.

Ce privilège est spécial à l'entreprise ou même au lot d'entreprise auquel ont concouru les ouvriers et les fournisseurs, et il ne s'étend pas sur le cautionnement.

Les autres biens de l'entrepreneur ne peuvent être atteints par le privilège accordé aux ouvriers, lesquels ne peuvent être considérés comme gens de service.

La loi du 25 juillet 1891 a déclaré, en outre, que « les sommes dues aux ouvriers pour salaires seront payées de préférence à celles dues aux fournisseurs ».

Cette même loi a étendu les dispositions du décret de l'an II à

tous les travaux ayant le caractère de travaux publics, c'est-à-dire aux travaux départementaux, communaux, des établissements publics, des Compagnies subventionnées, etc.

« En conséquence, les sommes dues aux entrepreneurs de ces travaux ne pourront être frappées de saisie-arrêt ni d'opposition au préjudice soit des ouvriers auxquels des salaires sont dus, soit des fournisseurs qui sont créanciers à raison de la fourniture des matériaux et d'autres objets servant à la construction de ces ouvrages » (Loi du 25 juillet 1891).

Ce que nous venons de dire des ouvriers s'applique aux tâcherons, c'est-à-dire aux chefs-ouvriers ayant d'autres ouvriers sous leurs ordres, et auxquels l'entrepreneur confie une partie d'ouvrage à la tâche ou à la journée.

Compétence. — Les contestations entre entrepreneurs et ouvriers ou leurs héritiers, en ce qui a rapport tant au travail et salaire qu'aux indemnités qui peuvent être dues, à raison de blessures ou de mort accidentelle (art. 16 des clauses et conditions générales de 1892), doivent être soumises aux tribunaux ordinaires. Les tribunaux à saisir peuvent être, selon les cas, le tribunal des prud'hommes ou la juridiction consulaire, l'entrepreneur étant, vis-à-vis de ses ouvriers, considéré comme commerçant.

Le tâcheron est considéré comme un ouvrier. Quant aux difficultés entre l'entrepreneur et ses sous-traitants, elles doivent être déférées aux tribunaux de commerce.

Responsabilité des entrepreneurs. — Les entrepreneurs sont, relativement aux personnes employées par eux, ouvriers, tâcherons ou commis, soumis aux règles du droit civil. Ils sont responsables du dommage causé par ceux qu'ils occupent, à moins qu'ils ne prouvent qu'ils n'ont pu empêcher le fait. Ils sont responsables *civilement* des contraventions de grande et petite voirie commises par leurs ouvriers. Cette responsabilité ne saurait s'étendre à celles commises par de simples fournisseurs de matériaux, alors surtout que les entrepreneurs n'ont pas participé à la contravention, et qu'il n'est pas établi que les fournisseurs aient agi d'après leurs ordres.

Réception des travaux. — On est tenu de faire la réception provisoire des travaux par une visite détaillée, dont on dresse un procès-verbal, dans lequel on doit dire que les travaux paraissent conformes ; mais on fait toutes les restrictions nécessaires. Pendant l'année qui suit, l'entrepreneur est tenu d'entretenir son œuvre ; dans le dixième ou le onzième mois, l'entrepreneur remet souvent tout en état, afin de ne pas avoir de réserves à entendre au moment de la réception définitive, qui a lieu en général au bout de douze mois ; cela dégage l'entrepreneur, sauf de sa responsabilité légale, qui dure encore neuf ans,

mais ne porte pas sur les détails ; elle est portée à trente ans, si l'on découvre qu'il y a eu fraude.

CHAPITRE II

MATÉRIAUX EMPLOYÉS DANS LES CONSTRUCTIONS [1]

Le **granit** (densité : 2,60 à 2,90) est formé par l'agglomération de trois minéraux : le *feldspath*, le *mica* et le *quartz*. Il présente différentes nuances, qui sont dues à la présence d'oxyde de fer ou de manganèse. Les granits sont d'autant plus durs que le quartz y est plus abondant et que ses grains sont plus fins.

Lorsque le feldspath domine, la roche prend le nom de *granit porphyroïde*.

Le **quartz**, qui est de la silice pure, est disséminé dans la masse du granit en grains irréguliers et incolores. Le *feldspath* (silicate double d'alumine et de potasse) s'y présente sous forme de cristaux lamelleux, brillants et souvent colorés, roses, blancs, gris, bleuâtres, verts. Le *mica* est un silicate complexe et variable ; il est formé de silice, d'alumine, d'oxyde de fer et de quelques autres oxydes. On reconnaît le mica à sa texture feuilletée, à sa transparence et à ses paillettes brillantes; ses couleurs sont le blanc, le gris, le jaune, le brun foncé et le noir.

Les **porphyres** sont des granits dans lesquels le quartz et le mica manquent, et où le feldspath domine ; ils sont composés d'une pâte feldspathique, dans laquelle se sont formés des cristaux de feldspath.

Le porphyre *vert* (mélangé d'amphibole) des Vosges, près de Remiremont, analogue au porphyre *vert antique*, provient aussi de Servance (Haute-Saône) ; on distingue les porphyres verts de Belonchamp, de Belfahy, de Ternuay, de Saint-Barthélemy, dont on fait des bases de colonnes.

Le porphyre *rouge antique*, composé d'une pâte d'un brun rouge violacé, dans laquelle sont disséminés de petits cristaux de feldspath blanc, se trouvait en Égypte (brocatelle, taché de jaune) ; en France, il y en a à Montreuillon, près Château-Chinon.

Les *serpentines* ou *ophytes* (hydrosilicates de magnésie), généralement verts, quelquefois brun marron ou rouge vif, ont la dureté du marbre, se découpent, se sculptent, se polissent et se tournent. Mais les serpentines sont fragiles, ont peu de cohésion, résistent mal au choc et à l'écrasement. Ces minéraux sont

[1] Voir l'ouvrage de A. Debauve, *Procédés et Matériaux de construction* (4 vol. avec atlas).

employés en marbrerie, marqueterie, ébénisterie et comme pierres d'ornement. Des gisements existent dans les Hautes-Alpes, les Vosges, le Lot, le Var (aux Guerrades près Draguignan), l'Aveyron, la Corse (à Bevinco, près Bastia) au cap Lizard (Angleterre), à Suze, Gênes, au Prato (Italie), etc.

On rencontre encore le porphyre à Chateaubriant (Loire-Inférieure), dans les montagnes de l'Esterel et du Pugé (Var).

La dureté du porphyre, plus grande que celle du granit, ne permet pas de le tailler; mais, dans quelques contrées, on emploie cette pierre en moellons, quoiqu'elle adhère mal au mortier. On peut en faire des pavages résistants, mais qui deviennent glissants sous les pieds des chevaux, des colonnes, des monuments, des vases, des statues.

A Épinal, on travaille des *porphyres mélaphyres* verts de Belfahy et de Ternuay (Haute-Saône). On travaille aussi la *syénite*, extraite de Saint-Maurice, connue sous le nom de *granit feuille morte*. Enfin on travaille encore à Épinal différents granits tirés de Cornimont, de la vallée de la Bresse, du Tholy et de Clefcy.

Les lames de mica disséminées dans le granit sont quelquefois disposées parallèlement à un même plan et donnent un aspect schisteux ou rubané à la roche. Celle-ci prend le nom de *gneiss* et est de qualité inférieure.

Le granit se polit bien et il résiste au feu.

La résistance des granits (poids minimum de 2.700 kilogr. par mètre cube) aux agents atmosphériques rend leur emploi avantageux dans les constructions. Il est certaines contrées où la composition du sol motive l'emploi des granits dans les constructions (Bretagne, Normandie, Vosges). Plusieurs ponts sont en granit.

Pour dalles et bordures de trottoirs, bouches d'égouts, marches d'escaliers très fréquentés, bornes, auges, culières, constructions à la mer, quais, digues, etc., on emploie des granits de Normandie. Ceux qu'on préfère sont gris, fortement micacés et à grain fin, et proviennent des bancs les plus durs des carrières de Saint-Brieuc et des environs de Vire (Calvados), tels que Saint-Pois, Coulouvray, Villedieu, Saint-Clair, et aussi de Sainte-Honorine-la-Guillaume (Orne). On trouve encore d'excellents granits dans les carrières du bois de Gast, près Saint-Sever (Calvados), et dans celle de Flamanville, près Cherbourg.

Le granit de Flamanville offre un mélange de grains blancs, roses et gris ; ceux de Vire et de Sainte-Honorine présentent un mélange gris foncé de grains bleuâtres et noirs.

Les granits de qualités inférieures ressemblent à un granit jaunâtre à grains peu adhérents de Reville, près Cherbourg, ou à un granit jaune rougeâtre des environs de Vire et de Sainte-Honorine, ou encore au granit blanchâtre du Gast.

Dans les environs d'Alençon, de Saint-Brieuc, Lannion, Tré-

guier, Dinan et Saint-Malo, on trouve un granit d'une qualité inférieure de couleur blanche et d'aspect feuilleté.

En Bourgogne, on trouve des granits un peu plus tendres que ceux de Normandie ; leur couleur tire sur le rouge, et leur cassure est moins luisante.

On trouve encore le granit en Auvergne, dans les Pyrénées, les Alpes, etc.

A cause de la grande distance de Paris aux lieux d'extraction du granit, les blocs qui y sont expédiés sont ordinairement taillés aux carrières, afin de réduire les frais de transport, de main-d'œuvre, d'ébauche et de taille. On gagne ainsi le transport des résidus d'abatage et de la taille, et la différence entre les prix de main-d'œuvre à Paris et en carrière.

L'exploitation des granits se fait généralement au moyen de coins, et ils se taillent avec des pics, des pointerolles et des marteaux.

Le granit présente quelquefois des *glaces* en solution de continuité, des bavures de peroxyde de fer qui couvrent les parements et des taches de rouille.

Le *prix des granits*, en gare ou en chantier hors de Paris, est établi ainsi par mètre courant :

Bordures 30/30	1er choix	14 fr.
	2e choix	13 »
Bordures 30/24	1er choix	11 »
	2e choix	10 »
Bordures 18/25	1er choix	8 »
	2e choix	7 »
Dalles	Au-dessous de 0,50	17 »
	De 0,50 à 0,60	19 »
	Au-dessous de 0,60	20 »
Blocs épanchés, le mètre cube		99 »
Grosses dalles de 0,20 le mètre cube		242 »
— — au mètre carré		48 »
Caniveaux	De 0,30 et 0,10 le mètre cube	8 »
	De 0,35 et 0,10 —	9 »
	De 0,40 et 0,10 —	11 »
	De 0,60 et 0,10 —	15 »
Bouches d'égouts grand modèle 30/30		60 »
Couronnement seul, grand modèle		34 »
Bavette seule, grand modèle		30 »
Bouches d'égouts grand modèle 30/24		51 »
Couronnements — —		29 »
Bavettes — —		24 »
Bouches d'égouts petit modèle 30/30		50 »
Couronnements — —		29 »
Bavettes — —		24 »
Bouches d'égouts petit modèle 30/24		42 »
Couronnements — —		24 »
Bavettes — —		19 »

Marches de 0,20 à 0,30.....	9 fr.
Marches de 0,30 à 0.40 sur 0,16.....	10 »
Marches de 0,40 à 0,50 sur 0,20.....	12 »

Pour avoir le prix de revient du granit à Paris, il faut ajouter 4 fr. 20 par mètre cube pour droits d'octroi.

On a appliqué un granit belge, dit porphyre de Lessines et de Quenart, au pavage et à l'empierrement. Ces pavés ne s'égrènent pas comme certains grès, et ils résistent à l'air, aux chocs et à l'écrasement; mais, de même que toutes les roches feldspathiques, ils ont l'inconvénient de se polir par l'usure et de devenir glissants. On ne remédie à ce défaut qu'en leur donnant de petites dimensions; les pieds des chevaux trouvent appui par la multiplicité des joints. On en fait de trois échantillons : le premier est à base rectangulaire de $0^m,10$ et $0^m,16$ pour côtés, la hauteur est un peu inférieure à $0^m,16$; le second est cubique et de $0^m,15$ d'arête; le troisième est cubique et a $0^m,13$ d'arête. Le prix du mille de pavés rendus dans les dépôts de Paris, tous smillés, varie de 234 à 355 francs.

Brisés en fragments, les granits et porphyres sont excellents pour chaussées à la macadam. A Paris, les quartzites (grès à grain fin et serré) employés qui ont donné les meilleurs résultats viennent de Montsur et Voutré (Mayenne), et de Maubeuge. $0^{mc},75$ à $0^{mc},80$ de ces pierres correspondent à l'emploi de 1 mètre cube de bonne meulière, mais leur emploi n'est pas économique.

Avec les porphyres de Montsur et de Voutré, il faut $0^{mc},70$ à $0^{mc},75$ pour obtenir les mêmes résultats qu'avec 1 mètre cube de bonne meulière, mais leur prix est bien plus élevé que cette dernière.

Le *granit talqueux* ou *protogyne* contient du talc (silicate de magnésie) en place du mica.

Les *syénites* rouges (granit rouge ou oriental) rappellent le granit ; elles sont un mélange de cristaux de feldspath, d'amphibole (silicate de magnésie, de chaux et d'oxyde de fer) et de quartz. On en trouve à Syène (Égypte) et à Servans (Haute-Saône).

Les **trachytes** sont des produits volcaniques dont la pâte est du feldspath et qui renferment beaucoup de cristaux de feldspath, présentant souvent des faces cristallines très nettes. En Auvergne, on les emploie comme pierre de construction (*obsidienne*, etc.).

Au trachyte se rattache la *pierre ponce*, matière fibreuse assez légère pour flotter sur l'eau, mais qui ne sert pas dans les constructions.

Dans la province de Constantine (Algérie), on emploie un porphyre trachytique comme pierre à bâtir.

Les **basaltes** (roches amphiboliques) sont composés de *pyroxène* (silicate de magnésie et de fer) et de *labrador* (espèce de feldspath à base d'alumine, de chaux et de soude). Ces cristaux sont d'une

extrême ténuité, ce qui donne à la roche une apparence de compacité, et lui permet de prendre un beau poli.

Les basaltes forment ordinairement des prismes accolés, gigantesques. C'est ce qui a lieu à Saint-Tibère, près Agde, et dans le Puy-de-Dôme, près Clermont.

Les basaltes sont trop durs pour être taillés et ils adhèrent mal au mortier; dans quelques localités on en fait des moellons et des pavages. On les trouve en Auvergne et dans l'Ardèche.

Les **laves** sont des matières minérales liquides qui sont rejetées par les volcans actuels ; elles s'étendent en nappes minces sur les flancs des volcans où elles se solidifient en refroidissant. Les scories, les lapilli, etc., sont des laves.

Les *laves d'Auvergne* ont quelque analogie avec les granits, mais d'un grain plus fin et moins serré ; leur couleur est noir foncé, on peut les tailler, et elles adhèrent bien au mortier ; on en fait quelques meules. Les meilleures laves proviennent de Volvic (Puy-de-Dôme) ; leur grain serré et homogène les rend pesantes et convenables pour dallage de trottoirs.

Recouvertes d'un émail vert appliqué à chaud et qu'elles retiennent bien, ou d'un vernis, les laves sont propres et salubres quand elles sont employées pour revêtir des soubassements humides ou des urinoirs.

L'Hérault, Volvic, l'Auvergne, Andernach fournissent des laves employées comme pierre à bâtir. Agde est presque entièrement construite avec des laves, en pierre de taille, ou en moellons. On en fait usage pour des ponts et viaducs, pour le canal et les chemins de fer du Midi.

Les *tufs volcaniques* ont la texture poreuse et sont légers. Ce sont d'excellentes pierres pour voûtes.

Pierres argileuses. — Leur aspect est terreux, satiné. Leur séparation en feuillets les fait donner comme type de *roches schisteuses*. Elles ne font pas effervescence avec les acides et ne font pas de feu au briquet. Elles fournissent des *ardoises* (Maurienne, Ardennes, Angers), qui ont jusqu'à 2 mètres et plus de long; on en obtient de véritables dalles (voir *Couverture*).

Le **grès** est une roche arénacée composée de grains de sable quartzeux agglutinés par un ciment quartzeux ou calcaire. Quelquefois les grains de quartz sont simplement soudés. De l'argile ou de l'argilite se mêle souvent au grès, qui est alors plus facile à tailler, mais plus friable.

Les *quartzites* sont des grès consolidés qu'on rencontre près des terrains de cristallisation où ils ont pris le caractère du quartz grenu (Bretagne, Normandie, Pyrénées).

Le *grès houiller* ou *grès psammite*, au milieu duquel on trouve la houille, est formé d'une accumulation de grains grossiers, quartzeux et feldspathiques réunis par un ciment argileux plus

ou moins micacé, ordinairement grisâtre ; on l'emploie à Saint-Étienne.

Les grès de *grauwackes*, formés de fragments de roches anciennes avec ciments argileux, de couleur grisâtre, quelquefois rouge, s'exploitent en Angleterre, Bretagne et Normandie.

On appelle *grès pif* ou *grisard* le grès le plus dur ; *grès paf*, celui dont la compacité est convenable pour l'emploi ; *grès pouf*, celui qui se réduit en *sablon* au choc du couperet.

Les *grès siliceux* sont très durs et à grains fins fortement reliés par le ciment naturel ; ils approchent du quartz gris. Il en est qu'on peut tailler et même sculpter ; la cathédrade de Cologne est en grès siliceux de Wurtemberg. Les grès siliceux ont sur les calcaires l'avantage de mieux résister à l'action destructive de l'atmosphère.

Les *grès calcaires* ont différents degrés de dureté, en raison de l'abondance et du plus ou moins de fermeté du gluten calcaire qui réunit leurs grains.

Les *grès argileux* se trouvent par couches, comme les calcaires ; ils sont d'un usage très répandu dans le sud-est de la France, où on les désigne sous le nom de *molasse*. Leur couleur est grise. On les taille facilement au moment de l'extraction ; mais, à l'air, ils acquièrent une dureté qui ne le cède guère à celle des pierres calcaires les plus résistantes. A Genève et à Florence, on s'en sert comme pierre à bâtir.

Les molasses donnent aussi des *grès verts*, dont quelques-uns s'égrènent à la gelée.

Les grès à ciment siliceux sont ceux qui résistent le mieux aux actions atmosphériques. Les grès compacts et fortement cimentés sont souvent hygrométriques.

Les meilleurs grès ont le grain fin et le tissu serré. La couleur *gris clair* est un indice de bonne qualité. Dans les carrières de grès les masses en sont moins dures à proportion de la profondeur où elles se trouvent, et plus le grès est dur, plus il est aisé de le diviser en morceaux d'une figure déterminée.

Les *grès rouges* sont les plus tendres et les moins résistants ; ils sont formés d'un ciment argileux et sablonneux coloré en rouge par l'oxyde de fer et empâtant des galets de quartz, de quartzite, de schiste argileux, de porphyre, de granit, etc. ; les grès rouges viennent des Vosges et de la Forêt-Noire.

Il existe des grès tendres qui s'écrasent si facilement qu'on ne peut les employer que pour l'affûtage des outils ou pour faire du sablon.

Dans les pays où il n'y a pas de bonne pierre calcaire, on fait usage de grès dont la dureté convient à de bons moellons et même à d'excellentes pierres de taille. Les carrières de la Rhune, près d'Ascain (Basses-Pyrénées), produisent des blocs de

grès qu'on a employés au phare de Biarritz et à plusieurs ponts. De ces mêmes carrières on tire aussi des pavés.

Carcassonne, Brives (Corrèze), etc., sont bâties en grès qui a été employé dans des ouvrages d'art ; on en construit des chaînes et des encoignures de bâtiments, des marches d'escaliers, des dalles, etc.

Le *grès bigarré* des environs de Phalsbourg supporte la sculpture. Le *grès bigarré* des Voivres (Vosges) s'exploite en *laves* minces pour couverture. Ces *laves* sont cassantes et donnent des couvertures très lourdes. Le grès bigarré est rouge ou gris verdâtre ; son grain est fin.

Il y a lieu de se méfier des grès, leur résistance étant parfois très variable dans la même carrière et dans le même banc.

Les grès étant bons conducteurs de l'humidité, il est préférable de ne les employer que pour les seuils, marches d'escalier, bordures de trottoir, bornes, linteaux de baies, murs de soutènement ou de clôture dans lesquels on ne craint pas l'humidité.

Certains grès réfractaires sont employés pour les revêtements intérieurs des hauts-fourneaux (grès de Wurtemberg).

Pavés en grès. — Les grès très durs sont trop difficiles à tailler pour être employés comme pierre à bâtir; mais, comme ils ont beaucoup de cohésion et qu'ils résistent bien aux chocs, on en fait usage comme pavés. Ces grès sont *blancs*, et leur grain est égal et fin ; ils se trouvent en bancs continus ou en grosses masses isolées au milieu d'un sablon fin et mobile, qui prend, en s'agglutinant, la consistance des grès vifs et tenaces.

Les grésières ou carrières de grès des environs de Toulon fournissent les pavés employés au pavage des villes de Marseille, du Var, etc.

Il existe des carrières à grès dans les environs de Paris : Montbuisson, Palaiseau, Pontoise, Belloy, Sceaux, Bel-Air, Lozaire, Orsay, Lacave, Train, Marcoussis, celles si productives de la forêt de Fontainebleau. Les pavés en grès s'extraient aussi de Feugerolles et May-sur-Orne (Calvados), Giromagny (près Belfort), Sainte-Sabine (Côte-d'Or), Bourbon-l'Archambault (Allier), Antally (près d'Autun), Bois-Mahon (Drôme).

Les grès de Fontainebleau comprennent la *roche dure* et la *roche franche*. La roche dure est très propre au pavage des rues et des routes ; on la débite en cubes de $0^m,22$ d'arête, que l'on désigne sous le nom de gros pavés, ou de pavés d'échantillon ou de ville. La roche franche est employée souvent au pavage des cours à cause de la facilité avec laquelle on la refend en pavés de petits échantillons, que l'on obtient en divisant ceux de $0^m,22$ en 2 ou 3 sur la hauteur. Les pavés de 3 n'ont ainsi que $0^m,07$ environ d'épaisseur ; et ceux de 2, $0^m,11$. Dans ces derniers il y en a qui ont pour base un rectangle de $0^m,22$ sur $0^m,13$ environ;

c'est ce qui arrive lorsque, après avoir séparé un pavé de $0^m,07$ d'épaisseur, le fendeur se trouve dans l'impossibilité de trouver 2 autres pavés de $0^m,07$; alors il retourne le bloc et le divise en deux dans l'autre sens, ce qui lui donne 2 pavés ayant $0^m,11$ d'épaisseur, et une base de $0^m,22$ sur $0^m,13$ environ.

D'excellents pavés en grès proviennent des Ardennes, de la Mayenne, de la Manche, de la Moselle, de l'Aisne, du Cher, de la Nièvre, etc.

On fait un grand usage de pavés en grès de la Nièvre, base rectangulaire et de divers échantillons, dont le plus répandu a $0^m,10$ sur $0^m,16$ pour côtés de la base. Il en entre 48 dans 1 mètre carré de pavage. L'échantillon de $0^m,13$ sur $0^m,20$ s'emploie fréquemment. En général, la hauteur des pavés est à peu près égale à la plus grande dimension de la base supérieure.

Les pavés de Marcoussis sont des pavés cubiques de $0^m,23$ d'arête, ou de $0^m,20$ d'arête, ou des pavés rectangulaires de $0^m,16$ sur $0^m,23$ ou de $0^m,10$ sur $0^m,16$ [1].

Dans le fendage des pavés les déchets sont occasionnés par les fils et par la mollesse de la matière, qui se brise sous le fer. Un ouvrier débite jusqu'à 400 gros pavés par jour, à l'aide d'un *couperet* à deux tranchants arrondis (*fig.* 1), pesant 25 kilogr., qui sert à diviser les blocs d'un seul coup, et d'un *portrait*, de même forme que le couperet, pesant 5 kilogr., qui sert à l'ébarbage des pavés.

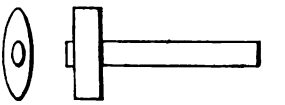


Fig. 1.

Silex, cailloux, poudingues. — On nomme *silex* des rognons d'une pierre très dure, dite *pierre à feu*, rencontrée dans les bancs de craie. Cette pierre n'est pas favorable pour les constructions. On emploie les plus gros blocs dans les massifs de maçonnerie ; on les taille quelquefois pour faire des parements de murs ou des pavés.

Les *galets* ou *cailloux* sont des fragments de pierre de grosseurs différentes, arrondis, dont la couleur varie du brun foncé au blanc laiteux, et qui font feu sous le choc de l'acier. Ils sont formés de débris de différentes roches ; on les trouve dans les lits des fleuves et dans les terrains d'alluvion, le plus souvent à fleur du sol, mais quelquefois à des profondeurs immenses. Lorsqu'on extrait le sable de carrière en le passant à la *claie*, les cailloux roulent sur le devant de cette espèce de tamis incliné.

On emploie les cailloux, sous des grosseurs qui ne dépassent pas 5 à 6 centimètres, à la construction des routes, à la macadam et à la maçonnerie de béton. Dans plusieurs localités les cailloux de 1 à 5 décimètres (*galets*) sont employés en faisant choix de

[1] Voir plus loin : *Pavage*.

ceux dont la forme ovoïde est plus ou moins aplatie, pour le pavage des rues et même comme moellons. Les cailloux les plus convenables pour maçonneries sont ceux qui proviennent des cours d'eau et des carrières d'où l'on tire du sable dépourvu de matières grasses ou terreuses, et dont la surface est rugueuse et la forme irrégulière. Ceux qui sont recouverts d'une légère enveloppe de craie, qui leur sert de gangue, font le mieux corps avec le mortier. Quand les cailloux proviennent de terrains argileux, il faut les laver pour en fabriquer du béton. Les cailloux valent 5 fr. 50 à 6 francs le mètre cube.

Dans les localités où le moellon fait défaut, on emploie les galets concurremment avec la brique dans les constructions. Plusieurs villes de Normandie et du Midi sont construites en maçonnerie mixte de galets et de briques, excellente et économique. Des villes sont pavées en galets, telles que Lyon, Nancy, Toulouse, Montauban.

La pierre appelée *poudingue* et *gréson* est une réunion de cailloux agglutinés par un ciment siliceux. Cette roche présente souvent une très grande consistance et une extrême dureté. On la trouve à fleur du sol, en blocs de faibles volumes, déposés par petits bancs isolés, et affectant la forme d'un parallélipipède aplati, ce qui les rend propres aux ouvrages de maçonnerie, surtout à cause des aspérités de leur surface, qui y font adhérer le mortier. On la trouve dans les sols alumineux et quartzeux; on ne la rencontre presque jamais dans les terrains calcaires.

Meulière. — Cette pierre est formée de débris quartzeux, de chaux carbonatée, d'alumine et d'oxyde de fer ; sa masse est criblée de trous.

On distingue deux espèces de pierre meulière. L'une a la couleur gris blanchâtre des grès durs et une masse pleine de la dureté du silex ; elle se trouve par bancs ou blocs de grandes dimensions, et on l'emploie pour meules de moulins d'une seule pièce. On trouve aussi de cette pierre en petits morceaux isolés, dont on fait des meules de plusieurs pièces, et que l'on emploie comme moellons dans les massifs de maçonnerie ; mais son défaut d'adhérence avec le mortier, dû à sa cassure très unie, la rend peu propre à ce dernier usage. Cette variété de meulière est la *caillasse*.

La caillasse concassée à la grosseur de 5 à 6 centimètres est estimée pour l'empierrement.

La seconde espèce de meulière se trouve aussi par bancs ou par blocs de grande dimension ; mais le plus souvent on la rencontre par petits morceaux, en masse peu épaisse et peu étendue à une faible profondeur, et quelquefois à la surface du sol. Sa couleur est d'un rouge jaunâtre ; la quantité de trous dont elle est criblée et les grandes irrégularités qui existent dans ses lits, en font

d'excellents moellons, qui se relient bien, auxquels le mortier s'attache fortement et qui résistent aux influences atmosphériques.

Cette seconde espèce de meulière comporte deux variétés : l'une, légère, poreuse et tendre, est susceptible d'être taillée en moellons piqués, avec arêtes régulières ; aussi l'emploie-t-on en parements et à des travaux d'ornementation. Pour l'autre, les blocs ont une couleur semblable et une surface également rugueuse ; mais ils sont plus lourds, plus compacts et plus durs ; on ne peut que les smiller au couperet de paveur, et cela sans obtenir des arêtes régulières. Cette variété est employée dans les constructions hydrauliques, pour résister aux grandes pressions et aux effets destructeurs de l'eau et de l'atmosphère.

La meulière contribue à la décoration des constructions par sa couleur rougeâtre et par sa texture prononcée, qui la font trancher avec les pierres de taille qui l'encadrent.

L'emploi de la meulière brute hourdée en mortier de ciment a pris une grande extension ; devenant presque immédiatement incompressible sous de fortes charges, on la substitue aux maçonneries de libages et de pierre de taille, pour les grosses fondations.

Les meilleures meulières dures employées dans les travaux hydrauliques de Paris proviennent des coteaux des vallées de la Seine et de la Marne (Ponthiéry et Orgenoy, au-dessus de Corbeil, Ris et Viry-Châtillon). La haute Seine fournit les meulières de Corbeil, Montgeron et Villeneuve-Saint-Georges, d'un moins bon emploi que les précédentes, à cause de leur forme plus ronde et de leur qualité plus *caillasse ;* on les emploie de préférence pour les chaussées à la macadam.

Les carrières de Mézières, près Mantes, et de Triel fournissent aussi de bonnes meulières, ainsi que celles de Bordes, près Laqueue-en-Brie, de la Ferté-sous-Jouarre, d'Auzouer-le-Vouljis, de Tournan, de Gresse, de Villepatour, etc. Il arrive aussi à Paris des meulières tendres des environs de Versailles et de Buch, ainsi que de Brunoy. Les parements des murs des quais à Paris sont presque tous faits, sur une épaisseur de $0^{m},35$, avec des moellons de cette meulière. Quelques années après, la surface des parements exécutés avec ces meulières se recouvre d'une couche verdâtre et souvent de touffes d'herbes qui amènent la ruine de ces parements. Les parements en meulière dure de Corbeil et de Châtillon sont préférables.

Les résidus de pierre meulière faits à la carrière ou sur les chantiers sont cassés en petits morceaux, employés pour l'empierrement des chaussées et pour la fabrication du béton. Les meulières de la Ferté-sous-Jouarre valent de 11 à 13 francs le mètre cube.

Calcaires proprement dits. — Ces pierres sont rayées par le fer et elles rayent le cuivre ; leur cassure est souvent conchoïde ;

leur couleur va du gris au jaune foncé. Elles ont une certaine élasticité, et elles adhèrent bien au mortier.

Les pierres calcaires sont formées de carbonate de chaux ; elles font effervescence avec les acides, se décomposent à une certaine température, quoique étant très réfractaires en chaux et acide carbonique, et ne produisent point d'étincelles sous le choc de l'acier.

Les calcaires *compacts*, qui renferment du sable disséminé, de l'argile, du fer, du bitume, comprennent le calcaire *oolithique* (Jura), le calcaire *coquillier* (débris de coquilles fossiles réunis par un ciment naturel), le calcaire à *polypiers*, les *travertins* (Italie), les *tufs calcaires* (Italie), le calcaire *lithographique* à grain très fin, etc.

Les calcaires *crayeux*, dont le type est la *craie* ou *blanc* de Meudon, sont composés de débris de carapaces de mollusques microscopiques.

Les calcaires *siliceux*, compacts, blancs, à cassure conchoïde, renferment des coquilles d'eau douce (Saint-Ouen). Les calcaires *marneux*, mêlés d'argile, se débitent à l'air.

Le *calcaire grossier* fournit une grande partie des pierres de construction ; elle est d'une texture terreuse, à grain grossier, souvent lâche ; sa cassure est droite, quelquefois raboteuse, et sa couleur varie du jaune pur au blanc sale.

Pierres calcaires dures. — Ces pierres se débitent à la scie sans dent, comme le marbre, au moyen de l'eau et du grès tendre réduit en sable fin.

La *pierre marbre* est un calcaire pouvant prendre du poli ; il est cristallin ou compact, dense, résistant, se taille bien et ne s'altère pas ; on l'emploie pour les monuments : le Château-Landon a été employé pour l'Arc de Triomphe ; on la tire aussi d'Euville (Meuse) et de Sampas (Jura). Il contient quelquefois des poches et des trous. Les environs de Briare, d'Orléans et de Chartres fournissent des matériaux analogues, mais moins bons (Voir, p. 38, pour les marbres).

Le *liais* ne contient aucune empreinte de coquilles et réunit les qualités d'une bonne pierre de taille ; il se taille bien, et résiste à toutes les intempéries quand il a été tiré de la carrière en temps convenable ; il est sujet à la gelée quand il est employé avant d'avoir essuyé son eau de carrière. Il provient du calcaire grossier supérieur et se tire de Senlis, du Laonnois, de Vandresse, Bagneux, Créteil. Celui de Conflans et de Saint-Denis est du vergelé fin et dur intercalé dans le calcaire grossier.

On distingue trois espèces de liais :

1° Le *liais dur*, dont le grain est fin, et la texture compacte et uniforme ; c'est une des plus belles pierres des environs de Paris. Les anciennes carrières de la barrière Saint-Jacques et du

clos des Chartreux étant épuisées, on l'extrait des plaines de Bagneux et d'Arcueil, de Saint-Denis et de Clamart. La hauteur de ce dernier banc varie de 25 à 30 centimètres, et on en extrait des blocs qui ont de 3 à 4 mètres de longueur sur 1m,50 à 2 mètres de largeur. Il est particulièrement employé pour les bancs, les marches d'escaliers, les cimaises, les monuments funéraires, les carreaux, les tablettes et les acrotères de balustrades; on en fait aussi des chambranles de cheminées, des dalles et autres ouvrages analogues qui exigent de la beauté et peu d'épaisseur de banc. On tire aussi du liais de Château-Landon, Corgoloin (Côte-d'Or), Larrhys du Bief (Yonne), Morley (Meuse);

2° Le *liais Ferault* ou *faux liais*, qui est aussi dur que le précédent, mais d'un grain bien plus gros. Il se trouve quelquefois dans les mêmes carrières que le premier, sous une hauteur d'appareil de 0m,35 à 0m,40. On l'emploie aux mêmes usages, mais surtout pour les ouvrages qui ont plus d'épaisseur. Il est difficile à travailler;

3° Le *liais rose*, qui est plus tendre que les deux variétés précédentes. Il se tire des carrières de Maisons-Alfort et de Créteil, où la hauteur de banc est de 0m,25 à 0m,30; on en extrait des carrières de l'Ile-Adam dont la puissance varie de 0m,30 à 0m,40. Ce liais s'emploie pour carreaux de salles à manger et d'antichambres, tablettes et chambranles de cheminées. En général, on donne le nom de liais à toutes les pierres dures de bas appareil, telles que celles provenant du Bel-Air ou Belair, de Pacy, de Conflans-Sainte-Honorine, de Nogent-sur-Oise, de Senlis, du Laonnois, etc.

Cliquart. — C'est une pierre d'un grain fin et égal, et de bon appareil, contenant peu de débris coquilliers. Cette pierre, qu'on a substituée au liais, est devenue rare, les carrières qui en fournissaient le plus étant presque toutes épuisées ; on l'extrayait en blocs, de 0m.30 à 0m,35 d'épaisseur, des carrières de Montrouge et de Vaugirard. On tire une pierre qui remplace le cliquart dans les plaines de Bagneux, de Clamart et de Val-sous-Meudon (liais-cliquart) ; cette pierre est moins dure et moins fine, et gele facilement.

La roche est une pierre très dure et quelquefois coquilleuse ; elle se trouve ordinairement en plusieurs bancs superposés; elle est très dense et très résistante ; on l'emploie pour soubassements et travaux exposés à l'humidité. La meilleure pierre de roche se tire des carrières du fond de Bagneux, de Châtillon (grise) et de la Butte-aux-Cailles près de Bièvre ; elle a généralement de 0m,45 à 0m,70 de hauteur de banc, y compris très souvent 0m,10 à 0m,15 d'épaisseur d'une pierre très coquilleuse. Les carrières d'Arcueil fournissent une roche très bonne, quand on a

eu soin de bien ébousiner les lits, ce qui oblige à réduire la hauteur de banc de 0m,40 ou 0m,45 à environ 0m,35.

On extrait des pierres de roche de Belair, de Fleury, de Montrouge, etc. ; elles contiennent parfois de nombreux fils, que les ouvriers cachent au moyen d'une boue de la couleur jaunâtre des pierres. Les carrières d'Ivry fournissent une roche fine, souvent coupée de fils, et dont la hauteur de banc est de 0m,40 à 0m,45. A Vitry (Seine) on trouve une roche, de 0m,30 à 0m,35 de hauteur et d'un grain fin, recherchée à cause de la grande dimension de ses blocs; on l'emploie pour balcons et monuments funéraires; lorsqu'on l'emploie avant qu'elle n'ait jeté son eau de carrière, il se produit, après deux ou trois ans à l'air, des petits fils qui finissent par la détériorer.

On emploie aussi à Paris des pierres de roche dure de Saillancourt (Seine-et-Oise), qui fournit des blocs de grandes dimensions, jusqu'à 1m,50 de hauteur d'assise, et qu'on a employées pour des parapets de ponts; celles de Saint-Nom (coquillier gris très clair), de Châtenay, près Versailles (hauteur d'assise, 0m,50 à 0m,80), de l'Ile-Adam, de Silly, de Souppes, etc.; celles de Sainte-Marguerite et de Château-Landon (Seine-et-Marne), qu'on emploie à la construction de monuments. Ces dernières pierres, gris jaunâtre, sont très dures et prennent le poli comme le marbre; elles ont l'inconvénient d'avoir des moyes et des parties terreuses qui obligent de les nettoyer et de les remplir, sans quoi la gelée les ferait éclater; leur hauteur de banc est de 0m,30 à 1 mètre et, comme leur homogénéité permet de les poser *en délit*, c'est-à-dire de mettre verticalement les lits de carrière, on peut obtenir la hauteur d'assise que l'on veut.

En Bourgogne, les meilleures carrières de pierre dure sont encore Montbard et Châtillon-sur-Seine (Côte-d'Or), et dans le canton de l'Isle (Yonne) et à Tonnerre. La roche de Châtillon-sur-Seine est aussi dure que celle de Château-Landon et n'a pas l'inconvénient de renfermer des parties terreuses; sa hauteur de banc est de 0m,50 à 0m,65.

Les bonnes pierres dures de Lorraine sont tirées des carrières d'Euville (calcaire coquillier), Lérouville et Mécrin, près Commercy (Meuse), des Savonnières, près Bar-le-Duc. Cette pierre, qui convient aux soubassements, est pétrie de grosses entroques qui lui donnent une cassure miroitante. On en a construit des monuments et des ponts.

On emploie aussi une pierre tirée de Saint-Ylie (Jura). Cette pierre rougeâtre prend le poli du marbre, est convenable à l'ornementation et donne des tablettes d'une grande longueur; on l'emploie pour les balustrades et les parapets.

On fait aussi usage de différentes roches tirées de Belvoye, la

Ferté-Milon (Aisne), Valangoujard, Soissons, Laversine, Comblanchien (oolithique), Vilhonneur (Charente), Victoire (Senlis), Ravière (Yonne), Saint-Maximin (Oise), Courville (Marne), l'Echaillon (Isère, blanc ou rose), Lussac-les-Châteaux (Vienne).

Beaucoup de ces pierres se rapprochent du marbre et s'emploient pour travaux hydrauliques.

Les carrières du Poitou fournissent les roches dures de Chauvigny, demi-dures de Bonnillet, de Fontaine-du-Breuil, de Bonnes, de Tercé-Normandoux et de Lavoux, etc. Cette dernière est très employée pour la sculpture et les monuments funèbres.

Les pierres demi-dures et tendres proviennent des bords de l'Oise, entre Conflans et Clermont.

Les pierres de roche proviennent de la Bourgogne, du Bourbonnais, de Commercy, d'Euville, de Lérouville, de Boncourt, de Longeville, de Reffroy (qui a servi pour le soubassement de l'Opéra), de Brillon, Aulnois, Sommeville, Savonnière, Branvillers, Morlaix, etc.

Ces pierres de la Lorraine et de la Haute-Marne ne peuvent remplacer, pour vasques, parapets et soubassements importants, des pierres comme le Château-Landon. Ce sont le Jura et l'Isère qui fournissent ces matériaux, surtout Damparisse et Sampans, d'où sont les colonnes et encadrement en marbre de l'Opéra. L'une de ces pierres, dite sanguine, est tachée de jaune d'or ; cette pierre de Sampans ne se conserve pas bien à l'extérieur, elle perd son poli. Les pierres de Damparis et Sampans sont dites aussi de Saint-Ylie.

L'Isère donne l'échantillon de deux sortes, blanc et jaune, pour travaux soignés de sculpture et d'ornementation.

Le terrain jurassique de Toul et Nancy est pauvre en pierres de taille. Le département de la Moselle possède les carrières de Damanvillers, Jaumont, etc.

Le **banc franc** ou *pierre franche* est de stratification plus récente que la roche ; il est moins dur, d'un grain plus fin et plus égal ; on n'y rencontre jamais de parties coquilleuses, ni d'empreintes.

On emploie cette pierre pour remplacer le liais quand on veut économiser ; son épaisseur de banc varie de $0^m,30$ à $0^m,40$, et elle atteint quelquefois $0^m,60$; elle provient des carrières exploitées à Montrouge, Bagneux, Châtillon, Arcueil ; on en tire aussi de Méry, de la Ferté-Milon, de Palotte (Yonne), de l'Isle-Adam, de l'Abbaye-du-Val (Oise), etc.

On comprend dans les pierres franches un banc de $0^m,30$ à $0^m,35$ de hauteur, de bonne qualité, et qui, par sa densité, tient le milieu entre la roche et le liais. La première assise du Panthéon français, à la hauteur du sol, a été construite avec cette pierre, tirée des carrières de Montrouge, d'Ivry, de Vitry et de Charenton.

Quand le banc franc est bien dur, on le vend comme de la roche, et comme du liais quand il est fin ; s'il est coquillier, on l'appelle *grignard*, et il est dit *rustique* s'il a des parties dures et difficiles à tailler.

La plupart des bancs francs sont gélifs et se désagrègent avec le temps.

Le **banc royal** est un calcaire d'une dureté variable, d'un grain et d'une teinte uniformes ; son épaisseur de banc va jusqu'à 0m,80. Sa finesse approche de celle du liais, et sa résistance de celle du banc franc ; comme tous les calcaires durs, il se débite à la scie au grès. On peut citer le banc royal de Conflans-Sainte-Honorine (Seine-et-Oise), qui est si plein que la texture grenue y apparaît à peine, et qu'on emploie pour la sculpture et la décoration monumentale.

Une autre espèce de banc royal est tirée de l'Abbaye-du-Val : c'est une pierre d'un grain très fin, et qui porte 0m,60 d'épaisseur de banc.

Dans presque toutes les carrières de pierres dures il existe des bancs de qualité trop inférieure pour être employés comme pierre de taille. Tantôt ils forment le banc inférieur, d'autres fois une couche intermédiaire, mais le plus souvent le banc supérieur qui touche au ciel de la carrière. Les meilleures parties de ces bancs imparfaits sont employées à faire des libages pour fondations.

Pierres calcaires tendres. — Ces pierres sont composées des mêmes éléments que les précédentes, et se débitent à sec, à la scie à dents. Ces pierres s'emploient pour la construction des édifices et des bâtiments particuliers; elles résistent bien à la gelée lorsqu'elles ont perdu leur eau de carrière ; elles se taillent facilement à la hachette, et leur parement a l'avantage de durcir à l'air.

Le *vergelé* et la *lambourde* sont des pierres maigres, poreuses, plus ou moins fines ; elles sont une agrégation d'un sable calcaire paraissant surtout composé de miliolites. Leur masse est mêlée de débris coquilliers de moules. Leur teinte est grise, souvent rubanée de veines ocreuses. Elles sont abondantes dans l'Oise et le Clermontois. Ce sont des pierres tendres qu'on équarrit à la laie et qu'on débite à la scie à dents ; on se borne à en scier les parements, qu'on ne taille pas. Ces pierres forment la masse moyenne du calcaire grossier et se trouvent en grandes masses. Les lambourdes sont plus tendres et plus marneuses que les vergelés.

La *lambourde* tendre la plus recherchée provient des carrières de Saint-Maur ; elle porte de 0m,65 à 0m,95 de hauteur de banc. On en extrait aussi à Carrières-sous-Bois, près Saint-Germain-en-Laye, de même puissance de banc que la précédente. Les carrières de Gentilly, Nanterre, Carrières-Saint-Denis, Houilles, Montesson, etc., fournissent une lambourde inférieure aux premières et d'un banc moins élevé.

Le *vergelé* et le *Saint-Leu* s'extraient des mêmes carrières situées sur les bords de l'Oise (Laigneville, Neuilly-sous-Clermont, Rousseloy, Saint-Vaast, Saint-Maximin). Le vergelé, pierre maigre, provient d'un banc supérieur ; il est de très bonne qualité et parfaitement résistant. Le Saint-Leu forme la masse inférieure des carrières ; il est d'un grain beaucoup plus fin que le précédent ; il s'écrase sous une plus faible charge, et il résiste moins bien aux influences atmosphériques. Ces pierres ont de $0^m,50$ à $0^m,80$ d'épaisseur. Les carrières de Silly fournissent un vergelé plus gras, c'est-à-dire plus marneux que le précédent : il est sujet à la gelée quand il n'a pas été employé dans la bonne saison.

Les parements vus des tympans de ponts de Paris sont en vergelé. Le vergelé de Saint-Vaast a des bancs de $0^m,40$ à $2^m,20$ d'épaisseur.

Le *Saint-Leu* et la *pierre grasse* se distinguent du vergelé en ce que le sable calcaire qui les compose est formé de débris de coquilles ou de moules, brisés, pilés et fondus dans la masse, si bien qu'ils ne se distinguent pas du ciment calcaire qui les agrège. Ces pierres s'écrasent sous le marteau et graissent les outils. Elles durcissent en perdant leur eau de carrière et se conservent bien. On en fait des moulures. On en trouve à Saint-Leu et à Trossy.

On nomme *Conflans* une belle pierre tendre qu'on extrait à Conflans-Sainte-Honorine, sur le bord de l'Oise, à Savonnières, Jouy-le-Comte, Méry, Butry, Presles, Rousseloy, Saint-Maximin, Saint-Vaast (Oise), à l'Abbaye-du-Val, à Vassens et Vierzy (Aisne) et à Château-Gaillard (Vienne). Cette dernière a de $0^m,55$ à $1^m,70$ de hauteur de banc. On en distingue trois espèces : la première (*banc royal* de $0^m,40$ à $2^m,30$ de haut) a le grain extrêmement fin et la masse très haute ; on en tire des blocs de toutes grandeurs.

La seconde espèce est prise dans la partie inférieure de la masse ; elle est plus tendre et plus fine que la précédente.

La troisième espèce, appelée *lambourde*, est d'un grain aussi fin que le banc royal, mais plus tendre et de qualité inférieure.

Les deux premières espèces sont employées pour travaux de moulures ou sculptures.

Le banc royal ne peut supporter la boucharde, mais se scie au grès, s'équarrit à la pointe et se taille à la laye.

Le *parmain* provient d'une carrière de l'Ile-Adam (Jouy-le-Comte) ; il est à peu près de même qualité que le Saint-Leu, un peu plus tendre et d'un grain plus fin. Sa hauteur de banc varie de $0^m,60$ à $1^m,50$.

Toutes les pierres tendres soumises à l'analyse fournissent à peu près les mêmes résultats que la roche et le banc franc; leur moindre degré de dureté doit être attribué à leur stratification,

qui paraît plus récente, et à la nature des couches qui les recouvrent.

On emploie quelquefois une pierre tendre appelée *tuf*, *tuffeau* ou *marne solide ;* celle qui contient une trop forte proportion d'alumine ne résiste pas à la gelée, et il est prudent de n'employer cette pierre que quand elle est entièrement sèche. Le tuf des environs de Paris n'est pas assez résistant pour les constructions.

Grès bâtard. — Cette pierre, à ciment calcaire, est bonne, non gélive et difficile à tailler ; on en tire d'Etrepilly et de Lizy, près de Meaux. Les grès assez calcarifères, ou les calcaires avec assez de silice, pour que leur aspect participe à la fois du grès et de la roche ordinaire, sont appelés grès bâtards.

Marbres. — Ce sont des pierres calcaires saccharoïdes, à grain fin et compact, d'une dureté qui supporte la taille la plus fine, et susceptibles de prendre un beau poli.

Les marbres sont des carbonates de chaux. A l'état pur, le marbre est homogène, et sa couleur est blanche ; il se comporte bien sous l'influence des agents atmosphériques. Coloré par des oxydes métalliques, il peut être sujet à une prompte destruction.

Les marbres sont généralement opaques ; mais il y en a qui sont cristallins et même translucides : ce sont les *albâtres*, qui se distinguent par une structure zonée et fibreuse, ainsi que par la dureté.

Dans les départements où les marbres abondent, on les emploie sous forme de moellons et de pierres de taille.

Les marbres se trouvent en bancs formés par dépôts. Leur extraction se fait à l'aide de coins et de pics.

Le marbre blanc, tel que celui de Carrare et de Paros, réunit le plus parfaitement les qualités pour la sculpture.

Le marbre blanc de Saint-Béat (Pyrénées) est inférieur ; il y a aussi ceux des Vosges (Chippal, Laveline, Napoléon) et de Filfila, près Philippeville (Algérie), le *blanc fleuri* (Italie), le *Pentélique* (grisâtre), etc.

On désigne sous le nom de *lumachelle* un marbre formé d'un grand nombre de coquillages et de madrépores, que l'on distingue facilement et qui sont agglutinés ensemble par un ciment calcaire. Il y en a surtout à fond noir et taches blanches de coquilles (Flandre, Narbonne).

Les *brèches* sont des marbres composés de débris de marbres plus anciens, agglutinés ensemble par un ciment de même espèce. Les *brocatelles*, les poudingues (grains arrondis) et les marbres *cervelas* sont des brèches.

Les plus renommés, parmi les brèches, sont : le *grand deuil* et le *petit deuil* (éclats blancs sur fond noir, Ariège, Aude, Basses-Pyrénées), la *brèche d'Aix* ou *brèche de Tolonet* (grands fragments

jaunes et violets réunis par des veines noires), la *brèche violette* (fond violet avec éclats blancs, Gênes, épuisé).

On distingue :

Le *marbre brut*, en blocs qui n'ont été ni débités, ni taillés;

Le *marbre piqué*, qui n'a été taillé qu'à la pointe ;

Le *marbre ébauché*, qui n'est travaillé qu'à la double pointe et au ciseau;

Le *marbre poli*, marbre qui, après avoir été frotté avec le grès et le *rabat* ou pierre de Goshland, est repassé avec la pierre ponce et poli au bouchon de linge, avec de l'émeri fin ou de la potée d'étain ;

Le *marbre lustré*, lissé et frotté avec un tampon de linge et de la potée, ce qui le rend luisant ;

Le *marbre en tranches*, débité en tables de 1 à 6 centimètres d'épaisseur ;

Le *marbre dans sa passe*, débité parallèlement aux lits du bloc;

Le *marbre en contre-passe*, débité perpendiculairement aux lits.

Sous le rapport des défectuosités, on appelle :

Marbre fier, celui qui, par sa dureté, résiste à l'outil, et qui éclate quand on veut y former des arêtes ;

Filandreux, celui qui a des fils ou fissures qui nuisent à son poli, et le rendent plus sujet à casser ;

Terrasseux, celui qui a des fissures plus grandes, vides ou remplies de substances terreuses, auxquelles on substitue du mastic;

Pouf, celui qui est susceptible de s'égrener et qui se refuse à recevoir des arêtes vives ou d'autres parties fines de sculpture.

Marbres de Flandre. — On a donné le nom de *marbre Sainte-Anne* à un grand nombre de marbres de Flandre et de Belgique: fond noir, avec taches blanches plutôt que des veines.

Parmi les marbres désignés sous le nom de *rouge de Flandre*, qui ont le fond rouge, on distingue:

1° Le *Saint-Remis*, près de Saint-Hubert (Belgique) : fond rouge foncé, chargé de taches gris bleu coupées de veines et de taches blanches ;

2° Le *cerfontaine*, près de Philippeville (Belgique) : fond rouge pâle, mêlé de gris bleuâtre; quelques taches et veines blanches;

3° Le *senzielle*, même qualité que le précédent, se tire des Ardennes: fond rouge foncé, avec taches gris blanc et bleuâtres et veines blanches;

4° Le *franchimont*, dit *royal*, s'exploite dans les Ardennes; il ressemble au senzielle et au Sainte-Anne; il est sujet aux terrasses et aux javards.

Le *grand incarnat*, le *rouge incarnat* et la *griotte*, dite d'*Italie*, sont exploités à Caunes, près Carcassonne (Aude). La griotte est à fond rouge cerise, vaporé de rouge plus foncé, avec quelques taches ou veines d'un blanc pur.

LIBRARY OF THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA

Le marbre *cervelas* se tirait de l'Aude : fond rouge de chair entremêlé de taches rouges plus claires.

Le *campan Isabelle* se tire des mêmes carrières que la griotte : fond rouge vif foncé ; taches transparentes rouge clair, veines et taches blanches.

Le *Napoléon :* marbre brun rougeâtre, veiné de blanc et de gris, exploité à Schirmeck (Vosges).

A Marquis et à Boulogne-sur-Mer (Pas-de-Calais) on exploite un *marbre Napoléon* à fond gris brunâtre et veines blondes.

Le département des Hautes-Pyrénées a donné :

1° Le *sarrancolin :* fond rouge sang, avec larges taches jaune sale et blanc pur en forme de veines. Son grain est fin, mais rempli de fils et de petites terrasses ;

2° Le *vert vert :* fond vert d'eau foncé, avec nuances, et fondu par des blancs verdâtres ;

3° Le *campan vert :* fond vert foncé, taches couleur de chair, d'autres vertes et transparentes ; quelquefois il s'y trouve des petites taches rouges et des veines blanches ;

4° Le *campan rouge*, sujet aux terrasses : fond rouge sang foncé, veines vert de bronze, taches couleur de chair et quelquefois verdâtres ;

5° *Brèche des Pyrénées, grosse brèche*, ou *brèche universelle :* tache nuancée en forme de cailloux rouges, gris, blonds, noirs et roux, quelquefois d'un jaune pâle ou d'un blanc sale, enchâssés dans un mastic ;

6° L'*albâtre des Pyrénées :* blanc pur, et quelquefois roux avec ondes transparentes.

L'Espagne est très riche en *albâtre ;* on y trouve l'*albâtre algérien*. L'*albâtre de Valcamonica* (Autriche) est blanc, légèrement grisâtre, spathique et transparent.

Marbres d'Italie. — 1° *Blanc statuaire*. — Les Alpes Apuennes renferment les marbres les plus riches. Les couches de Carrare (Modène) se prolongent en Toscane et près de Serravezza, en formant l'Altissimo, montagne de marbre statuaire (le marbre blanc jaunâtre, etc.).

En France, près de Bayonne, on trouve un marbre statuaire, moins estimé que celui d'Italie.

2° *Blanc veiné* de Monte Corchia et près de Carrare : veines gris bleu ;

3° *Bleu turquin :* calcaire saccharoïde mélangé de matières charbonneuses près de Carrare : fond bleu ardoise clair, veines blanches et transparentes. Le bleu turquin s'exploite aussi près de Turin, à Serpa (Portugal) et à Corte (Corse) ;

4° *Bleu antique* ou *bleu panaché*, des environs de Carrare : fond bleu noir, taches blanc azuré ;

5° *Portor :* fond noir ou gris, veines jaunes, rouges ou brunes,

formées par un carbonate ferrifère, s'exploite dans l'île Palmaria, et à Porto Venere, dans le golfe de Spezzia, à Carrare, à Serravezza, à Choren (dans les Hautes-Alpes) ;

6° *Marbre de Sienne* (Toscane) : jaune, tantôt pâle, tantôt foncé. Le *jaune de Sienne veiné* est traversé par des veines de couleurs foncées. La *brocatelle de Sienne* a les veines entrelacées.

Le plus beau *jaune de Sienne* s'exploite à Monte Arenti, dans la Montagnola de Senese. Aux environs de Pise il y a des *marbres jaunes* bréchiformes. Il y a des *marbres jaunes* appartenant aux mêmes couches à Misiglia, près de Carrare, et dans les environs de Serravezza. On en trouve aussi à Erbalonga (Corse) et à Philippeville (Algérie).

Le *rouge de Sienne* diffère peu du *rouge antique* exploité en Grèce.

7° *Jaune de Vérone :* fond jaune paille foncé, veines brunes ;

8° *Brèche violette* d'Hermitage, à Villette-en-Tarentaise : fond violet noirâtre ou brun chocolat, contenant des débris fossiles, des encrines, des fragments calcaires, bruns, jaunâtres, ou blancs ;

9° *Brèche* dite *africaine*, à Stazzema, près Serravezza : calcaire saccharoïde blanc, veines violettes. Quelquefois elle est rose, lilas, fleur de pêcher, jaune ou rouge ;

10° *Mischio :* variété violette ou rouge violacé de la brèche de Strazzema, tirée de Del Rondone et de Del l'Africano. Le mischio est pénétré par des veines de fer oligiste. La chaux carbonatée, qui est saccharoïde, s'y trouve en fragments le plus souvent violets.

11° *Africain :* fond noir sablé de blanc, et quelquefois vert clair et vif ; larges taches blanches, transparentes et mêlées de tons gris, bleus et d'un rouge de chair ; quelques taches ou cailloux d'un vert foncé et opaque ;

12° *Brèche de Venise*, près de Vérone : fond bleu, taches rouge pâle, ou cramoisi ;

13° *Vert de Vérone :* fond vert foncé, taches blanches ;

14° *Vert de Gênes :* fond vert noir, veines blanches déliées formant nuage et quelques petites taches rouge cerise. Le *vert de Turin* a le fond vert pré foncé, chargé de blanc transparent et de larges taches blanc pur ;

15° *Vert d'Égypte*, environs de Carrare : fond vert foncé, veines blanches, transparentes, quelques taches rouge vif, et parties vaporeuses couleur de sang ;

16° *Vert de mer*, mêmes carrières que le précédent ; pas de grandes masses rouges, transparentes sur le fond, vert plus clair ;

17° *Marbre ruiniforme* de Toscane, variété d'*albérèse* formée par un calcaire marneux et compact, fissures remplies de ciment ferrugineux et calcaire. On le tire des environs de Florence, au

pont de Rignano. On trouve une *albérèse zonaire* à couches brunes concentriques et une *albérèse fleurie* dans le lit de l'Arno.

18° *Marbre agate:* Ce marbre de Portugal présente des fragments calcaires brun rougeâtre, jaune de laiton, ou vert de bronze, réunis par de la chaux carbonatée blanche et spathique, transparente.

Marbres de la Grèce. — 1° Le *vert antique* se distingue par deux verts, l'un très foncé et l'autre transparent, petites taches blanches;

2° Le *jaune antique:* fond jaune pâle, masses vaporeuses légères;

3° *Rouge antique*, rare. On en trouve à Cynopolis et à Damaristica. Le *rouge antique* présente quelquefois, parallèlement à son lit, des bandes blanchâtres avec traces de fossiles et une structure arénacée. On en a retrouvé à Lageïa;

4° *Marbre de Paros :* blanc ou légèrement jaunâtre, lamelleux et à gros grains.

Marbres d'Égypte, des côtes de Barbarie et d'Afrique. — 1° Le *serpentin* fond vert très foncé, taches et veines plus claires, quelques-unes jaunâtres;

2° L'*arabie dorée :* fond jaune vif et foncé, taches en grand nombre et d'un rouge pâle;

3° Le *cypolin* vient de Tripoli : fond vert foncé, parties ondées, les unes vertes couleur de mer, et les autres blanches avec larges taches du même ton.

Un *cypolin* blanc veiné de vert provient de Vianna, dans l'Alentejo (Portugal). Dans les Algarves (Portugal) on trouve aussi une espèce de *cypolin*, formé par un calcaire saccharoïde rose, traversé par des veines de mica vert. Il y a d'autres variétés de cypolin à Gênes et en Corse;

4° L'*albâtre oriental* s'exploite en Égypte. Il présente des veines concentriques, tantôt translucides, tantôt opaques. Sa couleur varie du blanc au jaune de miel et au brun clair. Les Romains estimaient les variétés opaques, à concrétions arrondies (*albâtre onyx*).

Parmi les marbres modernes, citons encore le *grand antique* (Saint-Crépin, fond noir et veines blanches nettes), le *languedoc* (fond rouge et grandes veines blanches ondulées), les *granites* (ressemblent aux granits)[1], le marbre noir de Sainte-Luce (Isère), les marbres gris jaunâtres et bruns de la Mayenne et de la Sarthe, les marbres mosaïques de Moltifao (Corse), les marbres belges (gris et noirs de Dinant, Namur et Huy), le marbre de *Ténos* (Grèce).

[1] Le *petit granit*, rempli d'érinites, ou marbre des Écaussines (près Mons), sert à couvrir les meubles.

On fait en Italie des *marbres artificiels* pour dallages, parements, revêtements (*terrazi*, *lastrico*, etc.).

Les *stucs* sont des marbres artificiels en plâtre (voir plus loin). On imite le marbre dans la peinture du bâtiment.

Les *albâtres* (calcaires concrétionnés) les plus recherchés sont d'un blanc légèrement jaunâtre, d'une belle demi-transparence, avec des veines d'un blanc laiteux. Mais il y a aussi des variétés jaunâtres d'albâtre veiné, d'onyx, de marbre agate, employés seulement dans les intérieurs pour revêtements de grand luxe (Aïn-Tembalek, province d'Oran).

Principaux marbres employés en France

Numéros des classes comme dureté.		
1.	Blanc clair.	(Italie.)
1.	Bleu turquin.	(*Id.*)
1.	Bleu fleuri.	(*Id.*)
3.	Portor.	(*Id.*)
3.	Jaune de Sienne ordinaire.	(*Id.*)
4.	Vert de mer ou vert de Gênes.	(*Id.*)
3.	Vert d'Egypte.	(*Id.*)
4.	Brèche violette.	(*Id.*)
3.	Levanto.	(*Id.*)
2.	Brocatelle jaune.	(Espagne.)
2.	Brocatelle violette.	(*Id.*)
2.	Blanc statuaire de Saint-Béat.	(Pyrénées.)
1.	Blanc ordinaire de Saint-Béat.	(*Id.*)
3.	Sarancolin Ilhet.	(*Id.*)
3.	Beyrède Jumet.	(*Id.*)
3.	Campan mélangé et Campan vert.	(*Id.*)
1.	Bleu aspin.	(*Id.*)
4.	Grand antique.	(*Id.*)
3.	Rosé clair.	(*Id.*)
3.	Brèche grise, dite Toubat.	(*Id.*)
3.	Rosé clair.	(*Id.*)
3.	Griotte des Pyrénées.	(*Id.*)
3.	Griotte œil-de-perdrix.	(Hérault.)
3.	Languedoc (incarnat).	(Aude.)
3.	Rose vif.	(*Id.*)
3.	Rouge antique.	(*Id.*)
3.	Brèche Sainte-Victoire.	(Bouch.-du-Rhône.)
3.	Brèche Galifet.	(Bouches-du-Rhône.)
3.	Brèche de Saint-Antonin (dite d'Alep).	(*Id.*)
2.	Jaune de St.-Baume.	(Var.)
2.	Brèche jaune de Trets.	(*Id.*)
3.	Vert de Maurin.	(Hte-Alpes.)
2.	Brocatelle jaune.	(Jura.)
2.	Brocatelle violette.	(*Id.*)
2.	Jaune fleuri.	(*Id.*)
2.	Sarancolin de l'Ouest.	(Sarthe.)
2.	Rose Enjugerai.	(*Id.*)
2.	Napoléon gris et rose.	(Pas-de-Calais.)
2.	Henriette.	(*Id.*)
2.	Lunel.	(*Id.*)
2.	Joinville.	(*Id.*)
3.	Grand antique du Nord.	(Nord.)
2.	Sainte-Anne français, Consobré.	(*Id.*)
2.	Sainte-Anne, Hergies.	(*Id.*)
2.	Noir français.	(*Id.*)
2.	Noire boule de neige et amandes.	(*Id.*)
2.	Ste-Anne belge.	(Belgique.)
2.	Rouge de Flandre.	(*Id.*)
4.	Noir fin de Dinant, près Namur.	(*Id.*)
4.	Noir demi-fin et de Basècles.	(*Id.*)
2.	Granit Feluil.	(*Id.*)
2.	Onyx blanc.	(Algérie.)
2.	Onyx cachemire.	(*Id.*)

Taille et polissage des marbres. — Le marbre ne prend guère sa valeur qu'après le polissage. Le marbre est dégrossi *à la gradine* et on rétablit *au ciseau* les sciages gauches ou ondulés.

On a cherché à diminuer les frais de main-d'œuvre, pour la taille des moulures simples, au moyen de *rabots* profilés, mus mécaniquement. Mais ces outils ne peuvent servir qu'au travail des calcaires compacts, marbres d'un grain fin et de contexture dite « saccharoïde », c'est-à-dire dont la cassure ressemble à celle du sucre; les *brèches* et les *lumachelles*, aux pierrettes agglomérées, aux coquilles dures, ne peuvent être soumises à l'action des outils mécaniques.

Les balustres et autres pièces cylindriques sont d'abord ébauchées au ciseau, puis terminées au *tour*.

Le *polissage* comprend plusieurs opérations :

1° L'*égrisage:* on adoucit à l'aide du grès mouillé les aspérités laissées par le burin; ce travail se fait mécaniquement;

2° Le *rabot :* au moyen de morceaux de faïence sans émail et d'une seule cuisson, ou de *pierre de Gothland*, on continue à user le marbre. Le grès pilé est alors remplacé par un sable très doux avec addition d'eau. On fabrique des *rabots* en biscuit ou faïence sans émail, faits de terre très pure et choisie avec soin, cela pour éviter les corps étrangers pouvant rayer le marbre. Pour les calcaires, les granits et les porphyres, on emploie même l'*émeri* et une *molette de plomb ;*

3° L'*adouci :* on continue le frottage au moyen d'une *pierre ponce.*

4° Le *piqué* ou l'*adouci à fond :* on remplace la molette et la pierre ponce par un tampon de linge très serré et imprégné d'un mélange composé de limaille de plomb et de *boue d'émeri*, résidu du polissage des glaces ;

5° Enfin le *lustré :* les surfaces préparées par les travaux ci-dessus énoncés sont alors lavées ; puis on laisse « ressuyer » et on frotte avec un tampon de linge et la poudre dite *potée d'étain;* un dernier *coup* au tampon de chiffons secs achève le polissage.

Le *rebouchage :* après l'opération du rabot, qui nivelle les surfaces, on recherche et on remplit les *fils*, cavités ou *terrasses:* cela au moyen d'un *mastic* composé ordinairement de cire, de résine et de poix blanche, d'un peu de soufre et de plâtre, tamisé fin; le tout a la consistance d'une pâte épaisse : c'est là le mastic le plus apprécié.

Le noir de fumée, la potée rouge et quelque peu de la couleur dominante du fond ou des veines sont employés à colorer en raccord, les parties de mastic remplissant tel ou tel vide.

Lorsqu'il s'agit de marbres fins et précieux, la gomme laque mélangée à la cire d'Espagne, colorée convenablement pour les raccords à faire, forme le mastic à reboucher.

Le mastic se pose à chaud et reçoit le poli en même temps que la pièce de marbre elle-même.

Quelques marbriers ajoutent au mastic ci-dessus indiqué de la poudre de marbre qui lui donne une plus forte consistance.

On emploie encore au rebouchage :

Le *mastic de Corbel* composé, pour 1 kilogr., de $0^{kg},500$ ciment de tuileaux en poudre et passé au tamis de soie ; $0^{kg},250$ huile de lin ; $0^{kg},100$ blanc de céruse ; $0^{kg},100$ d'huile grasse pour siccatif, et $0^{kg},050$ de litharge ;

Le *mastic albumineux :* chaux grasse éteinte et blanc d'œuf ;

Le *mastic gras :* neuf dixièmes de brique pilée et un dixième d'huile de lin et de litharge ;

Enfin le *mastic de fontainier :* brai, résine, brique pilée et un peu de cire.

Il y a deux sortes de *potée :* la potée rouge d'un ton cramoisi et la potée d'étain, couleur gris de soufre ; on emploie la première en y mêlant quelquefois du noir de fumée, pour les marbres de couleur ; la seconde s'emploie pour polir les marbres blancs. La potée d'étain résulte de l'oxydation de l'étain par l'acide azotique, ou nitrique, dit eau-forte ; la potée rouge résulte de la combinaison de 1 partie de salpêtre brut et de 5 parties de sulfate de fer.

Prix des marbres. — Les marbres Sainte-Anne se vendent, en gare de Pau ou de Bagnères-de-Bigorre, 130 à 160 francs le mètre cube en blocs ou 7 fr. 50 à 9 francs le mètre carré en tranches de $0^{m},02$ d'épaisseur.

Le lumachelle de Lourdes coûte 140 francs le mètre cube en gare de Lourdes et 8 francs le mètre carré de tranches en gare de Bagnères.

L'aspin, coloré en bleu par le bitume, coûte 180 francs le mètre cube et 9 francs le mètre carré.

Les brèches de Vielle, brun et vert, coûtent 370 francs le mètre cube en gare de Lannemezan et 18 francs le mètre carré en tranches.

Le sarrancolin vaut de 500 à 800 francs le mètre cube et 30 francs le mètre carré.

Les griottes, le vert et le rouge moulin de Sost valent 250 francs et 12 francs en gare ; et la brèche portor, 200 francs et 11 francs.

Provenance des pierres calcaires. — En dehors de celles dont nous avons parlé, on distingue les carrières des Bouches-du-Rhône, du Calvados, de la Côte-d'Or, du Doubs, de la Dordogne, du Gard, de la Gironde, de l'Hérault, du Lot, de la Haute-Marne, de la Meuse, de la Moselle, du Nord, des Basses-Pyrénées, des Hautes-Pyrénées, du Var, de Vaucluse, de l'Yonne, etc.

La ville de Marseille est en partie construite en *pierre froide*, des

environs d'Aix, d'Arles, de Saint-Leu, de Gallisanne, etc. A Caen, les pierres calcaires sont coquilleuses et très blanches. Celles de Besançon sont compactes et susceptibles de recevoir un beau poli. Aux environs de Bordeaux, sur les bords de la Garonne, du Lot, de la Dordogne et de la Vézère, on trouve une quantité de pierres calcaires. Le département du Gard en renferme plusieurs sortes : celle employée aux Arènes est d'un blanc grisâtre, peu compacte ; on peut l'extraire par blocs ; celle du pont du Gard est remplie de fragments de madrépores et de coquillages ; celles du temple de Diane et de la Maison Carrée sont d'un grain très fin. Les carrières de Beaucaire produisent des calcaires analogues au vergelé. Les pierres de Montpellier renferment des débris de coquillage en abondance. A Tours et à Chinon le calcaire est d'un grain fin et serré ; il se taille facilement et soutient bien ses arêtes. A Orléans, la pierre est analogue à celle de Château-Landon. On tire de Villebois (Ain) des pierres de *choin*, et la pierre de Seyssel fine et blanche. La pierre de Saint-Fortunat (Rhône) est coquillière, veinée, grise ; on en fait les seuils, les appuis, les marches d'escaliers, les jambages, les étrières, etc. Dans le département du Rhône, on emploie encore des pierres de Lucenay, de Couson, de Saint-Cyr, et la pierre fine de Pomier, ainsi que les calcaires rouges de Tournus qui servent pour les chambranles de cheminées. A Rouen, les pierres d'appareil de Caumont et le liais de Vernon sont remarquables. La pierre d'Avignon est d'un blanc tirant sur le roux, et d'un grain fin ; elle peut servir aux mêmes usages que celle de Tonnerre (Yonne), qui est très blanche, d'un grain fin, et que l'on emploie pour les ouvrages délicats et la sculpture.

Qualités et défauts de la pierre de taille. — Pierres gélives. — Les qualités principales des pierres dures ou tendres sont d'être pleines, sans *fils* ni *moyes* ou trous, d'avoir le grain fin et homogène dans toutes les parties, de pouvoir résister à l'humidité et à la gelée, de ne pas éclater au feu, d'être faciles à travailler et adhérentes au mortier ; on doit y remarquer une teinte *spathique* que produit une stillation abondante de l'eau de cohésion.

Les pierres sont disposées dans la carrière par bancs parallèles, horizontaux ou quelquefois obliques, et composés de couches apparentes superposées. Les faces horizontales ou obliques de ces bancs sont les *lits de carrière.*

Il y a le *lit en dessus* qui est le lit tendre et le *lit en dessous* qui est plus dur. Dans certaines pierres on distingue difficilement les lits, et ce n'est qu'après la taille que cette distinction est possible.

En regardant la cassure verticale de la pierre, on y remarque une infinité de petites veines parallèles aux lits, quelquefois presque invisibles. On reconnaît les lits de carrière des pierres

des environs de Paris, et en général de beaucoup de pierres calcaires, à la partie tendre ou *bousin* qui les recouvre.

Il importe de disposer les pierres dans les constructions de manière que la pression qui les sollicite soit dirigée aussi normalement que possible aux faces parallèles aux lits de carrière; ainsi, par exemple, dans un mur vertical, ces lits seront horizontaux, car, si l'on plaçait les pierres en *délit*, c'est-à-dire si les lits de carrière étaient placés verticalement, les influences atmosphériques, jointes à la charge, les feraient déliter ou tomber en feuillets, et, perdant toute cohésion, elles compromettraient la solidité de la construction. Cette disposition est d'autant plus mauvaise que la pierre est plus tendre.

Dans les arcs, les plates-bandes et les voussoirs, les pierres sont nécessairement disposées en délit, c'est-à-dire que les lits de carrière forment les joints. Il doit en être ainsi, car les pierres résistent mieux à la pression lorsque celle-ci est dirigée normalement aux lits de carrière. Si une pierre doit rester découverte, on doit placer le lit dur par dessus.

Une *pierre* est *pleine* lorsqu'elle ne contient ni coquillages, ni cailloux, ni moyes, ni trous, ni fissures dures, terreuses ou métalliques; telles sont le liais, le banc franc et la pierre tendre. On désigne de cette manière toute pierre dont les lits sont aussi durs que l'intérieur du banc. Ces pierres sont les meilleures.

Les *pierres gélives* ou *gélisses* ne résistent pas à la gelée; elles absorbent facilement l'humidité, et l'eau qui se loge dans les petites cavités dont leur masse est criblée, venant à gonfler par suite de la congélation, les fait tomber en écailles minces, qui finissent par se réduire en poussière. C'est par les arêtes que commence leur destruction. Ces pierres sont moins denses que les autres de même espèce; elles absorbent l'eau avec facilité, et elles n'offrent pas de teinte spathique; elles soutiennent mal les arêtes.

Quelques pierres gélives peuvent être employées comme libages dans les fondations; mais elles doivent être rejetées pour toute autre partie de la construction. La plupart des pierres gélives, qui se détruisent aux intempéries de l'air, soutiennent facilement un feu de four à chaux, tandis que les meilleures pierres calcaires, qui résistent pendant des années aux grands froids, ne peuvent supporter le même degré de chaleur sans tomber en éclats. Les pierres tendres et poreuses soutiennent mieux la chaleur que les pierres les plus dures.

Il arrive que des pierres de bonne qualité se fendent et éclatent par un très grand froid; une grande partie des pierres calcaires ont ce défaut lorsqu'elles sont extraites aux approches de l'hiver ou pendant cette saison; si elles sont tirées pendant la belle saison, elles ont le temps de jeter cette eau de carrière, et elles résistent.

Les pierres qui absorbent beaucoup d'eau résistent rarement à la gelée et à l'humidité.

On nomme *pierre moyée* celle dont la texture n'est pas uniforme, et qui contient des fils ou des trous remplis de matières terreuses. Lorsque les *moyes* ne sont pas trop profondes, elles se trouvent enlevées par la taille; dans le cas où l'épaisseur de celle-ci est insuffisante pour les faire disparaître complètement, on ne peut employer les pierres que comme libages.

Lorsqu'une pierre est graveleuse et qu'elle s'égrène à l'humidité, elle est *moulinée*. Ce défaut est particulier à quelques pierres tendres (lambourde). On désigne les pierres qui ont ce défaut en disant qu'elles ont les arêtes *poufes*.

On trouve des pierres qui ont une ou plusieurs petites bandes ou zones très dures dans la hauteur de leur banc; on les désigne sous le nom de *pierres ferrées*. On éprouve beaucoup de difficultés à tailler sur les bandes, et leur couleur change.

Les défauts qu'on remarque encore dans les pierres sont : des fissures qui éclatent avec le temps en compromettant l'ouvrage, et appelées *poils;* des veines terreuses, dites *molasses*, lesquelles, en se dissolvant, donnent lieu aux mêmes inconvénients; enfin des veines métalliques qui se décomposent.

Des pierres d'une même espèce, celles qui ont le grain fin et serré, la contexture compacte et la couleur foncée, sont les plus dures, les plus difficiles à travailler et celles qui supportent les plus fortes charges. Celles dont la couleur est la moins foncée sont les plus tendres. Celles dont la cassure présente des aspérités et des points brillants se travaillent plus difficilement que celles dont la cassure est lisse et le grain uniforme.

Les bonnes pierres, qui ont le grain fin et la texture uniforme, produisent un son plein lorsqu'on les frappe avec un marteau; celles qui renferment des flaches ou fentes intérieures rendent un son très sourd. Les pierres qui exhalent une odeur de soufre lorsqu'on les travaille sont les plus résistantes. Pour les pierres de même espèce, les pierres les plus denses sont les plus dures et les plus fortes.

Quand les pierres se fendent, plus les éclats sont arrondis, plus la pierre est tendre. Il faut rejeter la pierre qui renferme de l'oxyde de fer et de manganèse.

Les pierres *schisteuses* ou soumises au clivage tombent par lames ou feuilles, quand l'humidité y pénètre.

Les pierres destinées aux foyers, aux tuyaux de cheminées, etc., doivent être soumises d'avance à une forte chaleur; si elles ne se détachent pas en lames, on peut les employer; mais les calcaires ne doivent pas, autant que possible, être employés pour ces destinations.

Les pierres scintillantes réunissent mieux toutes les qualités

d'une bonne pierre que les calcaires; mais elles sont en général plus dures et difficiles à travailler.

Les blocs de pierre calcaire sont ordinairement dégrossis en carrière: à la pointe pour la roche et le banc franc, au rustique pour le vergelé, et à la laye pour la lambourde.

Classification des pierres de construction (*d'après la série de la ville de Paris*). — Les pierres nos 1 et 2 sont compactes et susceptibles d'un beau poli.

Pierre n° 1

Liais de Corgoloin, rosé et moucheté.
Roche d'Hauteville.
— de Villebois.

Pierre n° 2

Pierres de Château-Landon et de Souppes.
Pierres de Belvoye-Damparis (dites de Saint-Ylie).
Roches de Comblanchien et d'Ancy-le-Franc.
Liais de Grimault.
Roche de Vilhonneur.

Pierre n° 3 : Roches et liais très durs

Echaillon blanc.
Roche d'Aumont.
Liais de Violaine.
— de Longpont-la-Grille.
— de Courville.
Roche de Tressancourt.
— de Jérusalem.
— d'Arthieul.
— de Damply.
— de Villiers-la-Fosse.
Liais Cliquart de Clamart.
Roche de la Celle-Bruère.

Pierre n° 4 : Roches et liais durs

Roche de Bagneux (qualité supérieure).
Liais des Arrues (Châtillon).
Liais de Lignerolles.
— de Larrys-du-Bief.
— des Meules (de Morley).
Roche de la Fontaine-du-Breuil.
Liais de la Sablière.
Roche de la Victoire (de Senlis).
— de Nogent (l'Isle-Adam).
Roche de Poissy.
— de Laversine.
— de la Forêt (de Villers-Cotterets).
— d'Arthieul (roche blanche).
— d'Antilly.
— de Pierrechèvre, Coulmiers, Savoisy, Semond et Puits (roche grise).
— d'Anstrude (banc jaune et banc gris).
— de Longpont (Aisne).
— de Courville.
— de Saint-Quentin.
— de Savoisy (roche grise).
— de Saint-Maximin (roche grise dure pour balcons).
— de Chassignelles (roche grise).

Pierre n° 5 : Roches et liais demi-durs, bancs francs durs

Liais de Carrières-Saint-Denis.
— de Poissy.
— du Larrys-des-Brosses.
Roche de l'Isle-Adam.
— de Saint-Maximin (roche basse et haute).
— de Saillancourt.
— de Pargny et d'Hamaret.
— de Celle-Bruère.
— de Moloy, la Ferté-Milon, Silly et Mareuil.
— de Butry.
— de Châtillon, Bagneux et Clamart (Seine).
— du Moulin (Seine).
— de Vitry.
— de Chassignelles (banc
— blanc, dit liais).
— de Ravières.

Roche d'Euville et Boncourt (pierre de choix, dite de marbrier).
Roche d'Euville ordinaire.
— de Lérouville.
Grès de Vacqueville-Merviller.
— de Phalsbourg.
Pierre franche de Chauvigny.
— — de Tercé.

Pierre n° 6 : Roches douces, bancs francs, bancs royals durs

Roche franche de Saint-Frambourg (Ivry, Seine).
Banc franc de Vitry (Seine), banc d'argent.
Roche fine de Marly-la-Ville.
Banc franc de Moloy, la Ferté-Milon, Silly et Mareuil.
Roche douce de Saint-Maximin.
Banc franc de Clamart, Châtillon, Bagneux et du Moulin de la Roche (Seine).
Banc franc de Marly-la-Ville.
— de Mériel.
— de Butry.
— d'Angy.
— de Charentenay.
— de la Ferté-Milon, Moloy, Silly, Mareuil et Saint-Maximin.
Banc royal de Jérusalem, de Méry et Villers-Adam (roche douce ou banc royal dur).
— de Clamart, de Châtillon, de Bagneux (Seine).
— de Vitry (Seine).
— de Courson.
— de St-Julien-Lavoux.
— de Château-Gaillard.
— de Ravières et du Larrys-du-Bief.
Banc royal d'Anstrude.
— de Savonnières (ordinaire et fin).

Pierre n° 7 : Bancs royals tendres

Banc royal tendre de Conflans-Sainte-Honorine.
Banc royal tendre de Marly-la-Ville.
Banc royal tendre de l'Abbaye-du-Val (commune de l'Isle-Adam).
Banc royal tendre de Genainville.
— — de Méry.
— — de Jouy-le-Comte.
— — de Saint-Maximin.
— — de Saint-Vaast.
— — de Rousseloy.
— — de Saint-Leu-Laigneville, d'Autrèches et de Vassent.
Banc royal tendre de Crouy.
— — de la Ferté-Milon.
— — de Moloy.
— — de Vierzy.
— — de Longpont.
— — de Malvaux.
— — de Branvilliers.
— — de Chevillon.
— — d'Allemagne.

Pierre n° 8 : Pierres tendres

Vergelé de Genainville.
— de Méry.
— de Parmain.
— de Saint-Maximin.
— de Saint-Vaast.
— de Rousseloy.
— d'Autrèches et de Vassent.
Pierre tendre de Laigneville.
— de Saint-Leu.

Prix moyen des pierres, *non compris la taille des surfaces vues*

Pierre de taille..... (droit d'octroi à Paris : 4 fr. 20 le m³)	1re qualité.....	120 à 150	fr. le m³
	2e —	100 à 110	»
	3e —	70 à 80	»
	4e —	50 à 70	»
Moellon de Châtillon (droit d'octroi : 1 fr. 20 le m³).....		9 à 9 50	»

Liais de Courville	70 fr.	le m³
Liais de Béthisy-Saint-Pierre	72	»
Roche fine Saint-Maximin	70	»
Roche Saint-Quentin	73	»
Roche Saint-Maximin haute	55	»
Roche Saint-Maximin basse	60	»
Vergelé Saint-Maximin, de Saint-Vaast, de Ressons, de Berneuil, Saint-Leu	38	»
Libage de roche	48	»
Libage ordinaire	40	»
Banc royal Saint-Maximin, Saint-Vaast, Saint-Leu, Méry, Vassens, l'Aisne, des Loges, de Berneuil, des Hautes-Fontaines.	46	»
Demi-durs. Roche douce Saint-Maximin	48	»
Demi-durs. Demi-roche Saint-Maximin	48	»
Demi-durs. Petite roche et banc franc	48	»
Demi-durs. Roche douce de l'Isle-Adam	50	»

Recherches et essais des pierres. — Résistance à la gelée. — Une pierre à bâtir doit être en grande masse pour être profitable et économique, avoir assez de dureté et de cohésion pour résister aux chocs, à la pression et aux influences atmosphériques.

Lorsqu'on a un travail important de maçonnerie à exécuter, il faut examiner toutes les pierres dont on fait usage dans le pays. On visite les carrières; si elles sont exploitées, on voit les édifices où les pierres ont été employées, afin de s'assurer comment elles se comportent; on regarde si leurs arêtes ne s'arrondissent pas sous l'action seule du vent, ou piquées par des oiseaux. Si les pierres sont gélives, c'est par les arêtes que commence la destruction. C'est à l'*eau de carrière* que les pierres doivent d'être gélives; l'eau de combinaison leur communique rarement ce défaut. En n'exploitant les carrières que l'été, on évite la gélivité, car les pierres sèchent avant l'hiver, et l'eau qu'elles absorbent ensuite ne leur est pas nuisible. Pour la façade de l'Opéra, des colonnes de 8m,25 de hauteur, d'un seul morceau, en calcaire jurassique de Ravières (Yonne), extraites en octobre, ont été gelées, et on les a remplacées.

S'il s'agit d'ouvrir de nouvelles carrières, il faut s'assurer par des essais que les pierres ne s'altèrent pas. On en exposera des blocs à l'air, à l'eau, à la gelée, et il sera bon d'en enfermer des cubes dans de la glace pendant 15 jours; si le temps ne permet pas de vérifier si les pierres résistent à la gelée, on pourra le faire en toute saison à l'aide du *procédé de Brard*, lequel consiste à substituer la force d'expansion due à la cristallisation d'un sel à la force d'expansion qui résulte de la congélation de l'eau.

Ce procédé consiste à préparer avec la pierre à essayer des petits cubes de 0m,04 à 0m,05 de côté; puis, après les avoir

pesés, à les faire bouillir pendant une demi-heure dans une dissolution de sulfate de soude saturée à froid (sel de Glauber) ; à les suspendre ensuite dans une chambre maintenue à la température de 15° environ, jusqu'à ce qu'ils soient recouverts d'efflorescences salines neigeuses, semblables à du salpêtre ; à les asperger alors, en les tenant au-dessus du vase, avec de l'eau pure, jusqu'à ce que toutes les aiguilles salines aient entièrement disparu. Cette opération faite, on replonge les cubes dans la dissolution froide, on les expose de nouveau à l'air, on les arrose, et l'on continue d'opérer ainsi pendant 5 ou 6 jours.

Quand les pierres ne sont pas gélives, le sel n'entraîne rien avec lui, et l'on ne trouve aucune parcelle de pierre au fond du vase ; mais, si les pierres sont gélives, on s'aperçoit, dès que le sel disparaît, qu'il détache des fragments, que les cubes perdent leurs angles et que leurs arêtes s'émoussent.

La méthode de Thury ne diffère de celle de Brard que sur des points de détail. Braun établit un rapport entre la force d'expansion de l'eau qui se congèle à l'intérieur de la pierre et la résistance de celle-ci à la traction longitudinale ; il suppose la pierre gélive si le premier chiffre est supérieur au second. Tetmajer compare les résistances de l'échantillon à l'état sec et à l'état humide.

Bauschinger expose l'échantillon en expérience vingt-cinq fois de suite à la gelée, en plein air, et mesure sa résistance avant et après l'expérience, mais ce procédé est long; et celui de M. A. Blümcke, expérimenté en Allemagne en 1885, est le meilleur.

M. Blümcke se sert d'un cylindre en métal, à doubles parois concentriques, terminé à la partie inférieure par un entonnoir, et recouvert d'un couvercle. Le corps en expérience est suspendu dans un panier en fil de fer, à l'intérieur du cylindre. Le mélange réfrigérant (3 parties de glace concassée et 1 partie de sel de cuisine) se place dans le vide compris entre les deux parois; le tout est entouré d'un isolant quelconque, feutre ou sciure de bois. De petits thermomètres, logés dans des cavités creusées à l'avance dans les pierres, en donnent la température. L'appareil permet de descendre jusqu'à 12° au-dessous de 0 (+ 10° Fahr.).

M. Blümcke fait ses essais sur de petits cubes de 8 centimètres de longueur d'arête environ ; il en prend deux à la fois. L'un est saturé, à froid, d'eau distillée ; l'autre reste à l'état naturel. Après trois heures de séjour dans l'appareil réfrigérant, les pierres en expérience sont retirées et placées dans une auge remplie d'eau, pour revenir à la température ambiante. Pendant ce temps, les particules désagrégées tombent au fond du vase, et on détermine le poids de matières détachées de la masse prin-

cipale. L'expérience est renouvelée plusieurs fois, et l'on ne s'arrête que lorsque des dégradations sérieuses, telles que fentes, rupture aux angles, éclatements, etc., commencent à se manifester. M. Blümcke conclut que la résistance d'une pierre à la gelée est en raison inverse du poids des particules détachées sous l'influence du froid. Il détermine une échelle de résistance à la gelée, des échantillons mis en expérience. La méthode se rapproche de la réalité, en ce sens que la pierre subit des variations de température analogues, quoique plus espacées et moins prononcées.

Les mortiers de ciment sont plus résistants que ceux de chaux. Un mortier fait avec une eau contenant 8 0/0 de sel ordinaire et exposé à une température de 8°, n'a pas souffert de la gelée, tandis que le mortier fait avec de l'eau douce était sans consistance.

Extraction de la pierre de taille. — Lorsque la profondeur à laquelle on trouve la pierre est déterminée, et qu'on connaît bien le sol qui la recouvre, les moyens d'extraction varient.

Lorsque la masse de pierre est à peu de profondeur, on l'exploite *à ciel ouvert*, c'est-à-dire en enlevant la terre qui la recouvre. On découvre d'abord une certaine étendue de la carrière, et on extrait la pierre mise au jour ; puis on découvre une autre partie, qu'on exploite à son tour, puis une autre partie, et ainsi de suite, en jetant toujours les terres dans les excavations qui résultent des exploitations antérieures.

Quand le gisement des bancs est à une profondeur considérable, on ouvre la carrière *en galerie*. Ce mode d'exploitation n'est praticable que lorsqu'il se trouve plusieurs bancs superposés, et que celui supérieur est assez résistant pour former un ciel ou plafond à la carrière. Ce banc étant ordinairement coupé par des fils, on est souvent obligé de le soutenir par des piliers en maçonnerie. Il faut, autant que possible, que la hauteur du ciel de la carrière au-dessus de son sol soit suffisante pour permettre la circulation d'une voiture chargée de pierres ; autrement, on serait obligé de rouler la pierre à bras jusqu'au dehors de la carrière, ce qui serait dispendieux.

Ces dernières carrières s'ouvrent ordinairement dans le flanc des coteaux, aux abords des routes. On en ouvre aussi dans les plaines; alors elles communiquent avec l'extérieur par des puits qui servent à sortir les pierres, et dans lesquels sont placées de grandes échelles de *perroquet*, qui permettent aux ouvriers de descendre dans la carrière et d'en sortir.

Le montage des pierres par un puits se fait à l'aide d'un treuil établi à leur ouverture, et qui est manœuvré par des hommes marchant sur des petites traverses fixées au pourtour d'une grande roue en bois montée à l'extrémité de son arbre

(*fig.* 2). Quand les puits sont profonds et que les matériaux à élever sont abondants, les treuils sont manœuvrés par des chevaux ou des machines à vapeur.

Afin de faciliter le chargement des pierres sur les voitures, on établit autour du puits, avec les déblais provenant de la fouille, un massif appelé forme, élevé de 1 mètre à 1^{m},50 au-dessus du sol. Le treuil élève les pierres au-dessus du niveau de la forme, sur laquelle on équarrit les blocs plus ou moins irrégu-

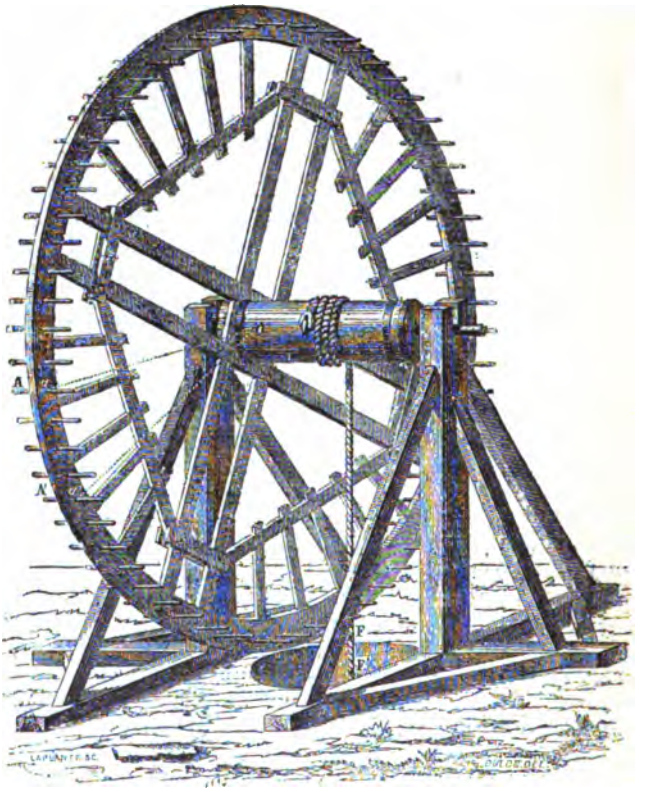


Fig. 2.

liers de pierre, afin de pouvoir en faire le métrage avant de les livrer aux chantiers.

Lorsque les pierres ne se trouvent que par blocs isolés, l'extraction se fait généralement à ciel ouvert.

Les pierres dures ou tendres se *tranchent*, c'est-à-dire que sur le lit supérieur on fait, avec la *pioche* ou le *pic*, une petite

tranchée de 8 ou 10 centimètres, qui circonscrit le bloc qu'on veut obtenir, et, à l'aide de fortes pinces et de coins, on détermine la rupture suivant la direction de la tranchée. Dans les masses très dures on emploie, pour séparer les blocs, des coins, des leviers en fer, des pinces, des trépans pour faire les trous de mine, des maillets ou mailloches, etc. Quand on fait usage de la poudre, on dispose les trous de mine de manière à séparer autant que possible des blocs ayant la forme et les dimensions désirées.

Il est difficile de déterminer *a priori* le prix de revient exact de la pierre de taille extraite et prise sur la forme de la carrière. Les chiffres du tableau suivant pourraient servir à titre de renseignement préalable. Ces chiffres résultent d'une valeur de journée de 2 fr. 50 pour un manœuvre, et de 4 fr. 25 pour un carrier; mais ces prix doivent être sensiblement majorés, car ces expériences sont déjà anciennes.

DÉSIGNATION DES PIERRES	DIVISION DU PRIX DU MÈTRE CUBE				PRIX total du mètre cube en carrière
	Indemnités de terrain, de passages, etc.	Frais de découverte, d'établissement de chemins, d'outils, etc.	Extraction proprement dite	Ébauche, frais de panneaux et de direction	
	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.
Calcaire tendre des carrières de Beaucaire (Gard), qui a beaucoup d'analogie avec le vergelé dur employé à Paris (*a*).....	1,50	3,50	6 »	2,50	13,50
Grès calcaire moyennement dur des carrières de Villegly et de Bagnols, près Carcassonne (Aude) (*b*).....	2,50	8 »	22,50	10 »	43 »
Grès siliceux très dur des carrières de la Rhune, près Ascain (Basses-Pyrénées) (*c*).....	2 »	22,50	36 »	20 »	80,50
Laves volcaniques moyennement dures des calcaires de Roquehaute (Hérault) (*d*).....	2 »	2,50	17 »	12 »	33,50

(*a*) Extrait à la tranche et aux coins. Les blocs avaient 0m,35 à 0m,55 d'épaisseur, et un volume qui ne dépassait pas 1mc,30; mais avec une augmentation de main-d'œuvre on pouvait en extraire d'un volume de 2 mètres et même de 3 mètres cubes.

(*b*) Extrait à la tranche et aux coins. Parfois on tire cette pierre à l'aide de pétards; mais il en résulte des fils. Les blocs d'un volume de 0mc,90 à 1mc,10 se trouvant rarement, leur prix augmente dans une très notable proportion.

(*c*) Extraction au fleuret et aux coins. Les blocs cubent de 0mc,50 à 0mc,80; pour des volumes plus grands, le prix de revient est plus élevé.

(*d*) Extraction aux coins et au moyen de pétards. La hauteur des blocs n'excédait pas 0m,55 et leur volume moyen était de 0mc,60; les blocs de plus grandes dimensions étaient difficiles à trouver.

L'exploitation des carrières de pierres calcaires a été réglée par le décret du 4 juillet 1810.

La loi du 21 avril 1810 sur l'exploitation des carrières a été modifiée par les décrets des 27 juillet 1880 et 12 février 1892.

L'ordonnance du 12 mai 1828 a réglé le mode de transport de pierres dans Paris.

Moellons. — On extrait les moellons des mêmes carrières que la pierre de taille, où ils sont faits avec les éclats de pierre et les blocs défectueux; on en tire aussi de carrières dont les qualités de la pierre et la hauteur de banc ne permettent pas d'en extraire avec avantage de la pierre de taille. Les moellons se débitent à la carrière ; ceux de forme régulière ont de $0^m,10$ à $0^m,25$ de hauteur, avec une largeur à peu près double et une longueur triple.

Les *moellons calcaires* sont les plus employés dans les constructions. On distingue :

1° Les *moellons durs de roche*, employés pour travaux hydrauliques, murs et massifs devant avoir une grande résistance, et les enrochements qui ont besoin d'une densité *maxima;*

2° Les *moellons moyennement tendres*, dits aussi *de banc franc*, qui servent à élever les murs de clôture et ceux des bâtiments en élévation, à cause de la légèreté qu'ils acquièrent en séchant;

3° Les *moellons tendres*, avec lesquels on peut faire des parements parfaitement dressés, à cause de leur facilité de taille.

Les moellons durs et tendres, de roche et de banc franc, en usage à Paris et dans les environs, viennent des plaines de Vitry, d'Arcueil, de Montrouge, de Passy, du Moulin de la Roche, de Vaugirard, etc. Les moellons tendres qui sont les plus traitables et qui soutiennent le mieux les arêtes sont tirés de Saint-Maur, Créteil, Carrières-Saint-Denis, Houilles, Nanterre, Montesson, ainsi que du Buisson-Richard, à Carrières-sous-Bois, près de Saint-Germain-en-Laye.

Sous le rapport de leur emploi, les moellons comprennent :

1° Les *moellons bruts* (*limousinage*), que l'on emploie, avec leurs dimensions différentes, tels qu'ils arrivent de la carrière, avec la précaution de les humecter pendant les grandes chaleurs. On en fait usage pour les murs, les massifs et les remplissages qui ont une forte épaisseur, ou qui sont simplement bloqués et non parementés.

Les moellons bruts tendres ont toujours besoin d'être légèrement ébousinés.

Quand les moellons bruts ont des dimensions qui n'excèdent pas $0^m,10$ à $0^m,15$ de côté, ils prennent le nom de *garnis*, et on les emploie pour caler les moellons et remplir les vides occasionnés par les formes irrégulières des moellons bruts.

2° Les *moellons ébousinés*, c'est-à-dire débarrassés de leur *bousin* (croûte tendre qui les recouvre), sont ceux qu'on taille légèrement

sur les lits et les joints, avec la hachette, au fur et à mesure de leur emploi; on en construit les murs de fondation et les autres murs qui doivent recevoir un enduit.

3° Les *moellons smillés :* on désigne ainsi les moellons dont on a taillé assez proprement à la base les parements, les lits et les joints, et que l'on emploie à la construction des voûtes, caves et murs dont la surface est seulement rejointoyée et doit rester apparente.

4° Les *moellons piqués*, taillés comme les précédents, mais avec plus de soin, de manière à en rendre les arêtes vives et bien dressées au moyen du rustique. Le parement layé ne doit offrir aucune *flasche* (manque de matière).

5° Les *moellons d'appareil*, parfaitement équarris et parementés comme la pierre de taille, qu'on taille sous différentes formes pour carreaux, angles de soupiraux, sommiers et voussoirs de baies de portes cintrées ou en plates-bandes, etc.

L'extraction des moellons bruts se fait souvent à la mine, mais pour les moellons smillés ou piqués il est bon d'employer la tranche et les coins.

Pour les grands travaux de défense et de fondations en rivières et à la mer, on emploie les moellons en *enrochement*. Dans ce cas ils ont souvent de plus grandes dimensions que quand ils sont employés pour les maçonneries proprement dites. Pour les enrochements de défense des ouvrages en rivières, leur volume varie de $0^{mc},020$ à $0^{mc},050$; pour les blocs naturels employés à la construction des jetées maritimes, le volume varie de $0^{mc},040$ à $0^{mc},500$ pour les couches inférieures, et de $0^{mc},500$ à $1^{mc},500$ pour les couches supérieures, sur lesquelles reposent souvent des enrochements formés de blocs artificiels de 10 à 15 mètres cubes en maçonnerie de béton ou de moellons bruts.

Terres argileuses[1]. — L'argile se compose, pour 100 parties, de 45 à 80 de silice, 15 à 40 d'alumine, et d'une quantité d'eau rarement supérieure à 18. Chauffées à 100°, les argiles ne perdent pas toute leur eau de combinaison et conservent leur plasticité ; à 200 ou 300°, elles ont perdu la majeure partie de leur eau, et elles ne reprennent plus de plasticité quand on les humecte. A une température convenable, elles prennent une dureté, une cohésion et un retrait qui fait diminuer leurs dimensions linéaires de 1/5.

Les argiles qui ne contiennent aucun corps étranger restent blanches à la température la plus élevée, et sont *réfractaires*. Les moins fusibles sont celles qui ne sont ni trop siliceuses ni trop alumineuses. L'argile de Provins, employée pour briques réfractaires, se compose de 57 de silice, 37 d'alumine, 4 d'oxyde de fer et 1,70 de chaux ; elle est blanchâtre et plastique.

[1] Voir *Leçons de Céramique*, par SALVÉTAT.

Presque toutes les argiles délayées dans l'eau laissent précipiter au fond du vase un dépôt de sable, rude au toucher et composé de grains de quartz et de feldspath, de lamelles très minces de mica, et de cristaux ou de grains de bisulfure de fer (pyrite de fer).

Outre ces corps étrangers, que l'on sépare facilement par décantation, les argiles en contiennent d'autres, qui restent en suspension dans l'eau et ne peuvent être séparés par le lavage; ce sont le carbonate de chaux, l'oxyde de fer, les alcalis et le bitume.

Les argiles contenant du calcaire font effervescence avec les acides. Les argiles mêlées de calcaire prennent le nom de *marnes argileuses*, quand elles ne contiennent que 10 à 12 0/0 de carbonate de chaux. Les marnes argileuses sont plastiques, prennent une grande dureté à la cuisson, et on les emploie pour poteries communes. Les *marnes* sont *calcaires* quand la proportion de carbonate de chaux est plus grande ; elles sont plus solides, quoiqu'il y ait cependant des marnes crayeuses dont la consistance n'est pas très grande. Elles se désagrègent sous les influences atmosphériques.

Les argiles contiennent presque toutes de l'oxyde de fer à l'état de peroxyde anhydre ou d'hydrate de peroxyde ; il les colore en rouge ou en jaune ocreux (*ocres*). Quelquefois l'oxyde de fer est combiné sous forme de silicate ou de carbonate.

Le carbonate de chaux et l'oxyde de fer ne diminuent la plasticité de l'argile que quand ils s'y trouvent dans une notable proportion; en faible quantité, ils diminuent sa propriété réfractaire ; les grains de pyrite, en se transformant en oxyde, facilitent la fusion.

Les argiles contiennent 2 ou 3 0/0 de potasse et de soude. Une petite quantité d'alcali suffit pour rendre une argile ramollissable à la haute température de nos fourneaux; les *kaolins*, qui renferment 2 ou 3 0/0 de potasse et de soude, ne sont pas complètement réfractaires.

Les argiles et les marnes contiennent souvent des matières organiques qui les colorent en brun, en gris ou en noir, et qui exhalent une odeur bitumineuse. Telles sont les marnes du *lias* (noires).

Le *kaolin*, ou terre à porcelaine, se présente en masses onctueuses, blanches, douces au toucher, liantes et plastiques (*kaolin argileux*), ou laisse par la décantation un dépôt de grains quartzeux et feldspathiques (*kaolin sablonneux*). Il y a aussi le *kaolin caillouteux*, composé d'une masse blanche qui s'égrène et n'est pas plastique. Délayé dans l'eau, il se désagrège, et l'on sépare par décantation une argile, qui est du kaolin pur, d'un dépôt composé de grains de quartz ou de feldspath.

COMPOSITION DU FELDSPATH

Silice	64,8
Alumine	18,3
Potasse	16,9
	100,0

COMPOSITION DU KAOLIN PUR

Silice	39,5
Alumine	44,8
Eau	15,7
	100,0

COMPOSITION DE QUELQUES KAOLINS

	St-YRIEIX	NIÈVRE	BRETAGNE	CHINE
Silice	48,0	49,0	48,0	50,0
Alumine	37,0	36,0	36,0	33,7
Potasse et soude	2,5	1,6	2,0	1,9
Eau	13,1	12,6	13,0	11,2

Briques crues. — Les briques crues sont très répandues dans le Midi, où elles sont employées pour les constructions agricoles et même pour celles des villes (Toulouse, Montauban, Perpignan, etc.). En Picardie et en Champagne on emploie beaucoup les briques crues. Ces briques ont, en Champagne, 0m,30 de longueur, 0m,14 de largeur et 0m,07 à 0m,08 d'épaisseur.

Dans le sud de la Russie elles résistent à des froids de 30 à 35°, avec des interruptions de dégel.

Fabrication des briques crues. — Toutes les terres, sauf celles qui sont sablonneuses, peuvent être employées à fabriquer des briques crues, en y mélangeant de la paille menue, du foin, des feuilles, des roseaux, etc. Les meilleures terres sont l'argile rouge ou blanche mêlée de sable; on en fait aussi avec la boue des routes (argile, craie et silex écrasé).

Sur le sol où l'on veut fabriquer les briques crues, on creuse, en enlevant une couche de terre de 0m,33 d'épaisseur, un bassin circulaire de 5 à 6 mètres de diamètre. On bêche le fond de ce bassin à la profondeur d'un fer de bêche, et après avoir versé sur la terre remuée la quantité d'eau nécessaire pour la convertir en boue épaisse, on la fait piétiner par un cheval ou un bœuf jusqu'à ce que l'eau soit absorbée. A ce moment, on ajoute la matière végétale.

L'opération du piétinement recommence jusqu'à l'entière absorption d'une nouvelle quantité d'eau que l'on ajoute pour faciliter le mélange, et dure ainsi deux ou trois jours. La température influe sur le temps que dure cette préparation, qui, dans les grandes chaleurs, se termine quelquefois en un jour. En général, on reconnaît qu'elle est suffisante à une odeur de pourriture qui s'exhale du mélange.

La terre ainsi préparée, on en fabrique les briques à l'aide de

moules réguliers. Les briques moulées sont posées sur le terrain environnant, où on les retourne jusqu'à ce qu'elles soient sèches; si on ne les emploie pas immédiatement, on les met en pile.

Le moment favorable pour la fabrication des briques crues est le printemps et l'automne.

Dans l'Orient, et particulièrement en Perse, les maçons pétrissent la terre argileuse avec les pieds, en y mêlant de la paille coupée courte; ils forment des briques dans des moules en bois mince d'environ $0^m,22$ de longueur, $0^m,16$ de largeur et $0^m,07$ d'épaisseur. En les moulant, pour les rendre plus unies, l'ouvrier passe la main dessus, après les avoir trempées dans un baquet plein d'eau mêlée de paille hachée plus menue que celle qui entre dans le corps de la brique. Au bout de 2 ou 3 heures, ces briques ont acquis assez de consistance pour pouvoir être rangées à claire-voie, à l'ombre, où elles sèchent.

Emploi des briques crues. — Ces briques ne s'emploient qu'après qu'elles sont arrivées à une dessiccation complète. Le mortier dont on se sert pour leur pose est de la pâte à briques crues, moins les matières végétales.

Dans les constructions en briques crues, les plafonds et le recrépissage des murs à l'intérieur s'exécutent au moyen du mortier ci-dessus, auquel on ajoute des balles de céréales, du crottin de cheval ou de mouton, des bouses de vache, du fumier très consommé ou du terreau. Si la terre employée est très argileuse, on y mélange de la terre sablonneuse ou du sable. Ces recrépissages sont aussi beaux et plus solides que ceux en mortier de chaux ou en plâtre, et peuvent être très minces.

Pour l'extérieur, on mouille bien la surface des murs, on refait les joints avec le mortier qui les compose, et on égalise à l'aide d'une planche à poignée.

Conservation des maçonneries de briques crues. — Les briques crues se conservent mieux dans les pays chauds et secs.

Dans les pays où l'on emploie les briques crues on recouvre les maçonneries de nombreuses couches de peinture à la chaux, ou on applique dessus un enduit de chaux, d'argile et de boue.

En Russie, on protège les murs en briques crues en les peignant extérieurement avec des goudrons, des huiles, appliqués à chaud, des couleurs à l'huile ou au lait, un vernis gris composé de cendres de bois tamisées, de chaux vive tamisée et d'huile.

En Perse et en Asie, les murs de clôture et ceux des maisons, bâtis en briques crues, sont recouverts d'un enduit d'argile et de paille hachée; le dessus est couvert d'un rang de briques cuites, et quelquefois de briques crues, auquel on donne une pente pour l'écoulement des eaux. Les murs des maisons importantes sont recouverts d'un mortier fait de chaux et de plâtre pilés et corroyés. Cet enduit est très solide et se conserve bien.

Briques cuites. — Les briques cuites s'obtiennent en exposant à un feu violent et soutenu des briques crues fabriquées avec de l'argile mêlé à 1/5 ou 1/4 de sable fin ou de marne.

Les *briques communes* se fabriquent avec des argiles sableuses et des marnes argileuses, calcaires ou limoneuses. Lorsque les argiles sont trop plastiques, les briques sont sujettes à se déformer et à se fendiller; on dégraisse la pâte avec du sable fin (qui combat le retrait) ou des marnes calcaires. Quand les argiles n'ont pas assez de liant, on y ajoute de la marne ou du calcaire, rarement de l'argile plastique, à cause de son prix trop élevé.

Quand on ne tient pas à économiser le combustible, on ajoute à la pâte assez de marne calcaire ou de craie pour augmenter la fusibilité, et l'on pousse la cuisson jusqu'à un commencement de vitrification. Quelquefois on ajoute à la pâte une certaine proportion d'escarbilles ou de mâchefer. Ces briques sont alors noires, compactes, sonores; elles résistent mieux aux agents atmosphériques, mais sont fusibles.

Les *briques réfractaires* doivent résister à des températures élevées. Les briques de premier choix sont faites d'argiles plastiques très réfractaires, dégraissées en y ajoutant 1 ou 2 volumes de ciment de terre réfractaire finement broyé; les argiles sont lavées. Pour les briques demi-réfractaires, on dégraisse l'argile par des sables.

Choix de la terre. — Les terres où l'on rencontre des éclats de craie ou de pierre calcaire et de silex ne peuvent être employées. Il faut rejeter les argiles contenant trop de pyrites de fer volumineuses; mais, si les pyrites sont petites, elles communiquent une fusibilité favorable.

Les briques de qualité exceptionnelle sont faites avec de la terre à tuiles (terre fine), malaxée avec soin et rebattue dans des moules métalliques : telles sont les briques dites *porphyres de Montchanin*, d'un grain fin et serré, qui ont $0^m,22 \times 0^m,107$ à $0^m,11 \times 0^m,054$ à $0^m,055$. Leur résistance à l'écrasement, par mètre carré, va jusqu'à 2.900.000 kilogr., mais elles sont très chères et ne s'emploient que pour les parements de luxe.

Extraction et corroyage de la terre. — On extrait l'argile vers novembre, et on la laisse à l'air pendant l'hiver (pourrissage), pour ne l'employer qu'au printemps. La gelée, le soleil et les pluies la disposent au corroyage; on la remue de temps en temps pour qu'aucune partie n'échappe à l'action atmosphérique.

On doit purger l'argile des substances pierreuses, crayeuses, pyriteuses, salines et même organiques qui s'y trouvent mélangées. Si ces substances ne sont qu'en faible quantité, on peut les enlever à la main pendant la manipulation de la terre à l'air et pendant son corroyage; dans le cas contraire, on a recours à un passage de la terre à la claie, après l'avoir préalablement con-

cassée, si c'est nécessaire. La séparation par un lavage serait trop coûteuse.

A l'argile on ajoute le sable ou la marne nécessaire, et l'on fait un mélange homogène, qu'on jette dans une fosse en maçonnerie hydraulique, et l'on y ajoute la quantité d'eau voulue pour la formation d'une pâte ductile assez ferme. Après avoir laissé pénétrer cette eau pendant quelques jours, des ouvriers, armés de bêches et les pieds nus, triturent la terre en la piétinant; ils la retournent fréquemment à la bêche, afin d'atteindre les couches inférieures et de corroyer uniformément. Cette opération s'appelle *marcher* la terre; les *marcheurs* enlèvent les pierres et les pyrites que la terre peut contenir.

Quand l'alumine et la silice ne se trouvent pas dans les proportions convenables, c'est-à-dire quand la terre est trop *maigre* ou trop *grasse*, on rapporte l'élément qui manque.

Lorsque la silice est en quantité insuffisante, il faut que le sable ajouté soit fin; le mélange s'opère en étendant la terre par couches uniformes, et en répandant dessus, en couches uniformes, la quantité de sable nécessaire. Si c'est l'alumine qui manque, on ajoute de l'argile grasse réduite en poussière ou en pâte assez molle pour qu'on en puisse faire facilement le mélange avec la terre.

En général, la quantité d'eau à employer ne doit pas excéder la moitié du volume des terres pétries. Le pétrissage s'opère souvent soit avec des cylindres qui passent sur le mélange, soit au moyen de laminoirs, soit enfin avec la tine à malaxer, qui ressemble au tonneau à fabriquer le mortier.

Pour obtenir des produits supérieurs, après un premier corroyage, les ouvriers jettent la terre dans une fosse voisine, où on la pétrit de nouveau par petites portions.

Le *marchage* de la terre est pénible et quelquefois dangereux. On peut le remplacer par un pétrissage mécanique, qui consiste soit à faire passer la terre entre une ou deux paires de laminoirs en fonte, unis ou cannelés, soit à faire rouler des cylindres sur la terre, soit à faire passer celle-ci dans une tine à malaxer.

Le mélange ou la correction des terres peut se faire pendant le marchage; mais, si l'on emploie un malaxeur, la terre à briques doit être préparée avant de la jeter dans l'appareil.

Le corroyage a la plus grande influence sur la solidité des briques, dont il augmente la densité. De deux briques, l'une préparée par les moyens ordinaires et l'autre corroyée avec soin, toutes deux ayant été séchées et cuites dans les mêmes circonstances, la première pesait 31 grammes de moins que la seconde, et elles se sont rompues sous les charges respectives de 35 et 65 kilogr. Les densités de ces briques étaient dans le rapport de 82 à 86, et les charges qu'elles supportaient dans celui de 70 à 130.

Moulage de la brique. — Lorsque la terre est bien pétrie, on en façonne les briques à l'aide de moules sans fonds, en bois, en bois doublé de métal, et parfois en fer. A cause du retrait de 1/5 qu'éprouve la terre par la dessiccation et la cuisson, on donne aux moules des dimensions un peu supérieures à celles que doivent avoir les briques. Suivant la forme des moules, on obtient des briques ordinaires, des briques en voussoirs, cintrées, en anneaux, etc. Quelquefois le moule est double en longueur, et il est divisé par une cloison pour donner 2 briques ordinaires à la fois.

Près du mouleur se trouvent la *minette*, ou baquet contenant du sable, et le baquet à laver les moules. Sur la *table à briques*, préparée et sablée, le mouleur pose le moule poudré de sable et le remplit d'argile; il comprime celle-ci, enlève l'excédent à la main, et unit la surface avec un petit racloir en bois appelé *plane*. Le moule est enlevé par le porteur, qui démoule les briques. Il porte les briques sur l'aire, où il les pose à plat, par rangs alignés.

Le porteur rapporte le moule, le nettoie, le sable et le rend au mouleur, qui, pendant les 8 à 10 secondes écoulées, a fabriqué une ou deux nouvelles briques. Certains mouleurs bien servis peuvent mouler 10.000 briques par jour.

On fait usage, dans les grandes briqueteries, de machines opérant le mélange et le pétrissage de la terre, et le moulage des briques. Parmi ces machines on cite celles de Terrassan, Carville, Capouillet, Mac Henri, Julienne.

Les argiles vertes et bleues de Paris sont plastiques; elles ne se délayent jamais seules dans l'eau et elles sont très dures. Quand les argiles sont très compactes, on les coupe en lames que l'on met détremper dans l'eau; après 24 ou 48 heures, quand la terre est détrempée, on la mélange, s'il y a lieu, et on la porte dans un malaxeur armé de lames obliques (et non de griffes comme dans le cas du mortier); au bas est une courbe forçant la terre à sortir. Les pâtes, à leur sortie du malaxeur, sont portées dans les moules à briques; elles servent aussi pour fabriquer des briques creuses, des tuyaux de drainage; mais alors la terre doit être plus pure, plus propre, exempte de racines et de pailles.

Les machines horizontales conviennent pour briques, mais non pour tuyaux de drainage, lesquels, trop mous, se déforment.

Parage, rebattage et séchage des briques. — Quand les briques posées à plat sur l'aire commencent à se raffermir, on les relève sur champ, et, quand elles ont pris assez de consistance, ce qui a lieu après 10 à 12 heures d'exposition sur l'aire, on les *pare*, c'est-à-dire qu'on enlève avec un couteau de bois les bavures du moule et les corps étrangers que la brique fraîche a pu ramasser, et, les plaçant sur un banc, on les rebat sur toutes les faces avec une *batte*. Souvent le rebattage se fait à l'aide d'un moule en fonte

dans lequel on comprime chaque brique encore ductile par un coup de piston. Le rebattage à la machine est beaucoup plus expéditif, mais plus dispendieux.

Les briques étant rebattues, on les met en *haies*, pour finir de les sécher entièrement, c'est-à-dire qu'on en forme des espèces de murailles à claire-voie, dont l'épaisseur comprend 4 briques en longueur, et dont la hauteur est de 14 à 17 assises de briques posées de champ. On recouvre les haies avec des planches ou des paillassons soutenus par des claies. En saupoudrant les briques de sable, le *metteur en haies* ralentit l'évaporation produite par un coup de soleil trop vif.

Quand on fabrique à couvert, on porte les briques raffermies sur des séchoirs à plusieurs étages ou rayons à claire-voie formés par des liteaux. Ces séchoirs sont placés sous des hangars en bois ouverts, couverts en tuiles, en chaume, en genêt et en bruyère. Ce séchage est préférable à celui en haies.

Cuisson des briques. — Une fois les briques arrivées à un état complet de dessiccation, on procède à leur cuisson.

La *cuisson à la volée* consiste à disposer les briques en tas sur une aire. Les tas sont formés de briques placées de champ, par assises. A la partie inférieure du tas on laisse des vides dont la largeur, sur le sol, est égale à 5 fois l'épaisseur d'une brique, mais que l'on diminue d'assise en assise, de manière à pouvoir fermer les vides par la 5e assise. Outre ces vides, qui règnent sur toute la largeur du tas et qui servent de foyers, il part, de la partie supérieure de chacun d'eux, deux ou trois vides verticaux qui servent de cheminées. Les rangs des deux premières assises sont formés de briques en contact par leurs extrémités, mais espacés latéralement tant vides que pleins, de manière à recevoir du charbon en morceaux de $0^m,03$ à $0^m,04$. Les briques du pourtour des 5e et 7e assises ont leur face extérieure faisant un certain angle horizontal sur les faces du tas, et on remplit encore les vides qu'elles laissent entre elles et les briques voisines avec des morceaux de charbon ; on peut encore disposer ainsi le pourtour de quelques autres assises convenablement éloignées, afin que la température soit à peu près la même au pourtour du tas que vers le milieu. On remplit tous les foyers de bois sec recouvert de morceaux de charbon nommé *gaillette* avant de poser la 5e assise. On met le feu après avoir placé la 6e assise. Sur toute la 6e assise, excepté à l'endroit du foyer, on place une couche de houille menue de $0^m,02$ à $0^m,03$, puis une nouvelle assise de briques, une couche de houille, une autre couche de briques, et ainsi de suite.

Afin de ne pas étouffer le feu, on ne place les nouvelles assises au-dessus de la 6e qu'au fur et à mesure que le feu pénètre la masse.

Pour empêcher les déperditions de chaleur et rendre la tem-

pérature uniforme, on enduit le périmètre du tas avec de la terre détrempée mélangée de paille hachée. On peut utiliser la chaleur perdue en couvrant le tas de pierre à chaux.

Un tas peut être formé de 24 assises de briques et avoir 5 foyers espacés entre eux, à la partie inférieure de 15 épaisseurs de briques. Par ce mode de cuisson on ne peut opérer sur moins de 50.000 briques à la fois, et l'on dépasse rarement 200.000; il faut compter sur 1/10 de briques de déchet. Les tas ont quelquefois $0^m,50$ de hauteur.

La quantité de houille brûlée est de 250 kilogr. (1/3 de grosse et 2/3 de menue) par millier de briques ordinaires, ou environ 164 kilogr. de houille pour 1 mètre cube de briques.

Par la *méthode flamande* ou wallonne, 1.000 briques reviennent à 13 francs environ.

La tourbe a été substituée avec avantage à la houille dans le mode de cuisson à la volée.

La cuisson des briques en tas et en plein air occasionne une dépense de combustible plus considérable que la cuisson dans des fours, présente plus de difficultés et donne des produits moins uniformes. Mais, comme ce procédé n'exige aucune construction permanente, il est avantageux dans bien des cas.

On ne retire les briques du tas que plusieurs jours après l'extinction du feu. C'est *vers le tiers de la hauteur* du tas que se trouvent les briques les plus estimées.

Cuisson des briques dans des fours. — Les grands *fours chauffés avec le bois* peuvent contenir 100 milliers de briques, et les petits 25 milliers. Ces fours sont carrés ou rectangulaires, et formés par 4 murs verticaux en briques, enterrés ou appuyés par des remblais en terre. Dans le pied d'un des murs sont pratiquées des petites voûtes, plus larges que celles des fours à la volée, reposant sur des pieds-droits de $0^m,60$ de hauteur. Ces voûtes, qui font partie du four et se prolongent sous toute son étendue, sont à claire-voie.

Quand on ne fait usage que de bois, on alimente les foyers pendant tout le temps que dure la cuisson.

On profite des murs qui entourent le four pour soutenir un toit fort élevé en tuiles; cette disposition préserve les briques de la pluie et du vent. Le prix de revient est plus élevé par ce procédé que par le premier.

On brûle environ 1.040 kilogr. de bois par millier de briques ordinaires, soit environ 875 kilogr. de bois par mètre cube de briques.

Quelle que soit la forme des fours, les briques y sont arrangées en les posant de champ sur le long côté, de manière que le premier rang croise les languettes des foyers, que le second rang croise le premier, et ainsi de suite, en réservant un petit vide

autour de chaque brique. On recouvre le dernier rang d'une couche d'argile de $0^m,11$ d'épaisseur, afin de concentrer la chaleur et de pouvoir la modérer, l'activer ou la diriger à volonté, en pratiquant des ouvertures dans cette couche.

Les fours au bois ont 10 à 12 mètres de longueur, 8 à 9 mètres de largeur et 6 mètres de hauteur. Les murs ont 2 mètres d'épaisseur à la base et $0^m,80$ au faîte.

Les *fours à la tourbe* sont construits comme les fours au bois; les foyers s'étendent sous toute la profondeur de la base du four. Le chauffage à la tourbe est le plus économique.

On peut faire usage du bois ou de la tourbe pour cuire en plein air. On forme avec les briques un tas rectangulaire ; on ménage à la base un certain nombre de canaux dans lesquels on charge le combustible, puis on recouvre les faces latérales du tas d'une couche de terre ou d'argile.

Lorsqu'on fait usage de la houille pour cuire la brique à l'aide de fours fermés, les foyers sont à grille et placés seulement dans l'épaisseur des parois du four. Des voûtes à claire-voie, qui s'étendent dans toute la profondeur du four, distribuent partout les produits de la combustion. Les foyers se placent d'un même côté du four, au nombre de deux ou trois. A Issy, M. Carville a établi des fours voûtés supérieurement, carrés, chauffés à l'aide de trois grilles, et dans lesquels on cuit 80.000 briques avec 160 hectolitres de houille.

Lorsque les fours sont voûtés, le tirage s'effectue par des ouvertures pratiquées dans la voûte ou par une cheminée d'appel.

Avec le four circulaire Hoffmann, pour fabriquer 10.000 briques par jour, il faut, pour construire le four, 500 mètres cubes de maçonnerie, cheminée comprise, 170 mètres cubes de sable, 3.700 kilogr. de fer et fonte. La dépense de la cuisson est de 100 kilogr. de houille pour 1.000 briques fabriquées.

Conduite du feu. — Pour cuire la brique en four fermé, on commence par un feu modéré qui dure 24 heures; on le porte ensuite à un degré moyen de chaleur, que l'on continue pendant 36 heures, puis on le pousse jusqu'à la plus forte intensité, et on l'y maintient jusqu'à l'entière cuisson des briques ; après quoi on ferme toutes les issues du four, afin que le refroidissement ait lieu lentement.

Pour les fours ordinaires, qui renferment 40 à 60 milliers de briques, le feu est allumé pendant 10 à 12 jours, et l'on en consacre 5 ou 6 au refroidissement.

Les briques d'une même fournée ne sont pas toutes également cuites, celles qui occupent *le tiers inférieur de la hauteur* du four sont les plus estimées.

Briques-combustible. — M. Tiget façonne ces briques comme les briques ordinaires; mais la terre est remplacée par un

mélange de 80 kilogr. de terre et de 16 kilogr. de détritus de charbon de bois, de coke ou de tourbe carbonisée, et l'eau pure par une dissolution de 800 grammes d'alun et 200 grammes de nitrate de soude.

On dispose les *briques-combustible* par lits de 4 à 5 briques, alternant avec les briques ordinaires. Une brique-combustible peut, en se cuisant, en cuire 4 autres. Pour mettre en feu un four de 20.000 briques, il suffit, quand le four est chargé, de jeter de menues escarbilles sur les grilles pour sécher ; on fait rougir le premier rang de briques-combustible, qui brûle de lui-même, en communiquant de proche en proche la combustion aux 4 rangs qui le surchargent ; la marchandise placée au dessus rougit et finit par allumer le second massif de briques-combustible, qui suffit pour terminer la cuisson. Quand le premier rang de briques-combustible est rouge, on ferme tous les foyers et cendriers ; l'air n'arrive plus qu'avec difficulté, mais en quantité suffisante pour opérer la combustion des briques-combustible. Une fois le four fermé, la cuisson s'achève sans la présence d'aucun ouvrier. Une cuisson de 20.000 briques dure de 48 à 60 heures.

D'après Salvétat, en faisant usage des briques-combustible, on diminuerait de 0 fr. 25 le prix de revient ordinaire de fabrication et de cuisson.

Qualités des briques. — Les qualités que doivent réunir les briques à bâtir sont les suivantes :

Homogénéité dans toute la masse ; texture égale ; cassure brillante ; absence de fissures et de défauts ; dureté les rendant capables de supporter de fortes charges ; résistance à la fente ; régularité de formes, afin que les joints soient partout de même épaisseur, et que, par suite, le tassement de la construction soit uniforme ; uniformité de dimensions, afin que les briques d'une même assise soient de même hauteur, et que l'on obtienne sans difficulté des parements de maçonnerie bien réguliers ; uniformité des couleurs, dans les briques de revêtements et dans les travaux d'ornementation ; facilité de les couper et tailler à la longueur et sous la forme voulues.

Les briques de mauvaise qualité se reconnaissent par leur couleur jaune rougeâtre et par le son sourd qu'elles rendent quand on les frappe ; leur grain étant molasse et grenu, elles s'émiettent sous les doigts, se rompent facilement et absorbent l'eau avec avidité.

Les bonnes briques rendent un son clair par la percussion ; elles sont dures, et ont le grain fin et serré dans la cassure ; les arêtes doivent être dures, la surface unie et lisse, non déjetée ; elles sont d'un rouge brun foncé et présentent à la surface des parties vitrifiées. Il ne faut pas toujours se fier à cette dernière apparence, qui n'est due souvent qu'au degré de cuisson seul. Il

arrive que, pour donner un plus beau coup d'œil aux briques, le fabricant sème, sur la plate-forme du séchoir, du sable siliceux fin et du mâchefer pilé ; ces matières s'attachant à la surface des briques encore humides, et se vitrifiant en partie au moment de la cuisson, donnent une belle apparence trompeuse aux briques.

D'après Salvétat, 100 kilogr. de briques sèches absorbent, en moyenne, 13^{kg},11 d'eau.

Pour vérifier si une brique peut résister à l'action de la gelée, d'après Brard, on la fait bouillir pendant une demi-heure dans une dissolution saturée à froid de sulfate de soude, puis on la suspend par un fil au-dessus de la capsule dans laquelle elle a bouilli. Au bout de 24 heures, la surface se trouve recouverte de petits cristaux, que l'on fait disparaître par une nouvelle immersion dans la dissolution; ils se reforment encore après quelque temps de suspension ; on les fait disparaître de même, et, après avoir répété la même opération pendant 5 jours, à chaque nouvelle apparition de cristaux, si la brique est gélive, elle abandonne des petits fragments qui se réunissent au fond de la capsule ; dans le cas contraire, la cristallisation du sulfate de soude n'en détache aucune particule, les arêtes ne s'émoussent même pas.

Les bonnes briques cuites remplacent avec avantage, dans bien des cas, le moellon, et suppléent avec économie la pierre de taille.

Pour des constructions extérieures exposées à l'humidité, les briques doivent êtres compactes, résister à l'absorption de l'humidité et à la gelée. Pour des constructions intérieures, elles peuvent être poreuses, légères et doivent être faciles à tailler pour diminuer le travail.

Pour des voûtes, elles doivent présenter une grande résistance.

Devis d'une briqueterie mécanique (*d'après G. Oslet*). — Supposons qu'on ait besoin de fabriquer 10 à 12.000 briques pleines et 8 à 10.000 briques creuses par jour.

L'installation perfectionnée devra comprendre :

Une machine à vapeur de 25 chevaux, locomobile à condensation compound	18.000 fr.
Transmissions, poulies, courroies	3.500
Une paire de gros cylindres	2.590
Une toile sans fin	600
Une paire de cylindres de 0^{m},40 de diamètre	1.940
Une toile sans fin réunissant lesdits cylindres à la machine à briques pleines	540
Une machine à briques pleines	4.320
6 brouettes à plate-forme à ressorts	300
Une paire de cylindres pour pâte molle	1.510
Une toile sans fin réunissant lesdits à la machine à briques creuses	540
Une machine à 2 hélices pour mouler les briques creuses	2.500
A reporter	36.340 fr.

Report.....	36.340 fr.
2 élévateurs à brouettes, composés de 2 treuils, guide-cornière, appareils de retenue, 2 cages, chaînes, etc.....	2.500
Pompe pour élever l'eau d'arrosage, réservoir, tuyaux, etc. chemin de fer, matériel, divers, etc.....	3.000
TOTAL.....	41.840 fr.

Briques en usage. — Les *briques de Bourgogne* sont les meilleures qu'on emploie à Paris ; on y fait aussi une grande consommation de briques de Montereau ou de Salins. Les briques de *pays*, qui se fabriquent à Paris et dans ses environs (Vaugirard), sont moins estimées ; cependant on les emploie à cause de leur légèreté.

Les briques de Bourgogne ont $0^m,220$ de long sur $0^m,106$ à $0^m,110$ de large et $0^m,055$ d'épaisseur; cette dernière dimension n'est ordinairement que de $0^m,048$ à $0^m,050$ pour les briques de Montereau et de Salins. Ces briques sont d'un rouge très pâle; mais celles de Bourgogne sont plus chargées de taches brunes produites par des matières vitrifiées ; elles produisent parfois des étincelles sous le choc de l'acier, et pèsent 2.250 kilogr. par mille, au lieu de 2.063 kilogr. pour celles de Montereau.

Les briques de *pays* sont rouge foncé; elles résistent mal aux chocs; elles ont $0^m,22$ de long, $0^m,10$ ou $0^m,11$ de large et $0^m,040$, $0^m,05$ ou $0^m,06$ d'épaisseur (voir plus loin); le millier pèse 1.935 kilogr. Parmi ces dernières, une brique très employée est celle de la *façon Bourgogne*, provenant de Vaugirard.

Les briques Muller (Ivry-Port) ont $0^m,12 \times 0^m,107$ ou $0^m,110 \times 0^m,065$ ou $0^m,070$.

La *brique de Sarcelles* (à 12 kilom. de Paris) ne porte que $0^m,19$ à $0^m,22$ de long sur $0^m,095$ à $0^m,11$ de large et $0^m,045$ à $0^m,050$ d'épaisseur; sa couleur est rouge vif uniforme, sans vitrification; elle est plus fragile et plus légère que les précédentes; le millier ou le mètre cube ne pèse que 1.750 kilogr.

Les briques de Vernon (Eure) et celles de Saint-Quentin, Amiens, Compiègne, etc., sont livrées à Paris à des prix peu supérieurs à ceux des briques de *pays* et inférieurs à ceux des briques de Bourgogne, qu'elles égalent presque en qualité.

Dans le Nord les briques ont $0^m,25 \times 0^m,12 \times 0^m,06$; dans le Midi elles mesurent $0^m,43 \times 0^m,29 \times 0^m,05$.

Classification des briques, d'après leur emploi. — Les *briques de grosses constructions* sont les plus communes. Selon les localités, elles coûtent de 10 à 35 francs le mille. Elles ont ordinairement $0^m,24$ à $0^m,27$ de long, $0^m,10$ à $0^m,17$ de large, et $0^m,06$ à $0^m,07$ d'épaisseur; mais elles ont parfois $0^m,30$ ou $0^m,36$ de long, $0^m,20$ ou $0^m,24$ de large, $0^m,04$ ou $0^m,05$ d'épaisseur. Les plus grosses, dites *briques anglaises*, contiennent parfois de menus fragments de coke et de mâchefer, qui les rendent plus légères et

susceptibles de garder la chaleur des chambres dont elles forment les murs.

Parmi les briques cuites à la volée, il s'en trouve dont l'argile, trop peu chauffée, est encore délayable par l'eau. On s'en assure en immergeant dans ce liquide les briques dont la nuance terreuse indique la faible cuisson, et en observant si elles se désagrègent.

Les *briques de fours, de fourneaux, de cheminées et de carrelages*, devant résister à une certaine température, ou à des frottements et des chocs continuels, doivent être dures, compactes, lourdes et bien cuites. Parmi les briques qui réunissent ces qualités, on peut citer celles de Bourgogne, homogènes, et surtout celles des *bonnes marques* (marquées de deux lettres des meilleurs fabricants). Les briques des bonnes marques de Bourgogne sont assez réfractaires pour servir aux fours usuels.

On fait des *demi-briques*, qui n'ont que la moitié environ de la longueur des briques ordinaires, et d'autres que la moitié de l'épaisseur. Les premières sont commodes pour couper les joints sans avoir à casser des briques entières, et les secondes pour obtenir une hauteur précise sans passer trop de temps à tailler.

Les briques que l'on doit préférer pour *les réservoirs et les aqueducs* sont les plus compactes, les plus fortement chauffées à la cuisson, au point qu'elles offrent, sur l'un de leurs côtés au moins, des traces plus ou moins prononcées de vitrification à la surface. Ces sortes de briques sont appelées *briques fort cuites*.

Les *briques vernissées* sur une ou plusieurs faces (à l'aide d'un enduit vitreux) sont convenables pour citernes, réservoirs, aqueducs, et même pour conduits de fumée, la suie ne pouvant s'y attacher.

Briques creuses ou tubulaires. — Ces briques, imaginées vers 1850 par Borie, ont une grande légèreté. Elles présentent une grande résistance à la rupture et aux agents atmosphériques, une liaison plus intime des maçonneries qui en sont faites, une inconductibilité de la chaleur et peu de transmissibilité de l'humidité. On les emploie pour légers ouvrages, planchers, voûtes, cloisons et parties auxquelles on ne donne qu'un faible poids.

Ces briques ont à peu près les dimensions des briques ordinaires. Les trous sont ordinairement percés dans le sens de la longueur. On distingue les briques à grandes, à moyennes et à petites cavités; ces dernières sont plus légères pour une même résistance, et admettent moins de mortier dans leur intérieur. Il y a des briques qui n'ont que 4 et même 2 trous.

Fig. 3.

On fait des briques creuses qui ont la longueur et la largeur des briques ordinaires, mais dont l'épaisseur est égale à la lar-

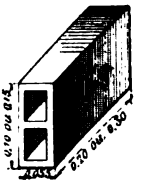


Fig. 4.

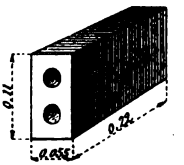


Fig. 5.

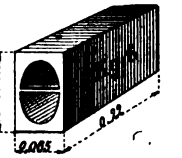


Fig. 6.

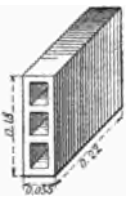


Fig. 7.

Fig. 8.

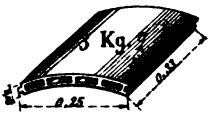


Fig. 9.

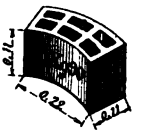


Fig. 10.

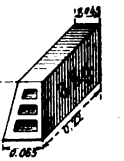


Fig. 11.

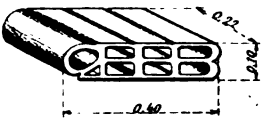


Fig. 12.

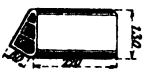


Fig. 13.

Fig. 14.

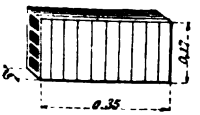


Fig. 15.

Fig. 16.

Fig. 17.

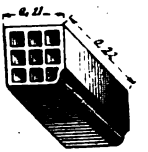


Fig. 18.

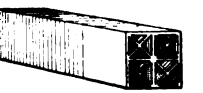


Fig. 19.

geur; elles sont percées de 9 trous ou même seulement de 4; ces briques atténuent les bruits. Pour ventilation, on fait des briques à 18 trous (*fig.* 3).

Comme pour les briques pleines, toutes les argiles conviennent à la fabrication des briques creuses, pourvu que la proportion d'alumine soit normale. Un retrait de 1/8 sur les dimensions entre une brique sortant du moulage et la même brique sèche, prête à la cuisson, indique que le mélange argileux est convenable. Un retrait moindre correspond à un mélange manquant de plasticité et se moulant imparfaitement; ce défaut se rectifie par une addition d'argile ou en éliminant l'excès des matières siliceuses. Un retrait plus prononcé correspond à des produits qui courent le risque de se fissurer à la dessiccation et à la cuisson; dans ce cas on doit diminuer la plasticité de la terre par l'addition de matières inertes. Les argiles d'Ivry et de Chantilly demandent l'addition d'environ 33 0/0 de sable fin.

Le mélange argileux, convenablement trituré, est livré au moulage. Les machines peuvent mouler 7.000 briques par jour lorsqu'elles sont mues par la vapeur, et 5.000 quand elles sont mues à bras. La machine de Clayton peut produire de 10 à 15.000 briques par jour. Les vides étant parfois sensiblement égaux aux pleins, il y a en moins 50 0/0 de matières premières à acheter et à triturer; le séchage s'effectue plus rapidement, et à la cuisson on réalise une économie de combustible de 40 0/0. Le prix de revient des briques creuses est donc notablement inférieur à celui des briques pleines.

Le séchage s'effectue sur des rayons mobiles pouvant recevoir 10 briques posées de champ, et facilement transportables. La cuisson a lieu dans des fours prismatiques accolés, marchant alternativement.

Les figures 4 à 21 montrent divers types de briques creuses.

Les figures 9 à 11 représentent des briques circulaires pour voûtes, cheminées ordinaires et de ventilation; la figure 12 montre une brique pour planchers.

Les figures 14 et 15 représentent des briques creuses pour revêtements et cloisons; les figures 11, 13 et 16, des briques pour sommiers et voussoirs.

La figure 17 montre la brique Robert-Avril : elle est à saillie et entaille s'emboîtant l'une dans l'autre; un joint formé d'un lait ou coulis est suffisant.

La figure 19 représente une brique à canaux-croisillons.

Briques creuses cintrées à emboîtement Gilardoni pour arcs (*fig.* 20 et 21). — Ces briques se posent sans aucun cintrage. Une fois le premier rang posé, les emboîtements donnent la direction des autres pièces. Les mortiers les rendent solidaires, de telle sorte qu'on forme une sorte d'arc en un seul morceau où les

poussées sont à peu près nulles. Cette construction est très légère et d'exécution rapide. Nos figures représentent des briques horizontales, mais ordinairement elles sont cintrées.

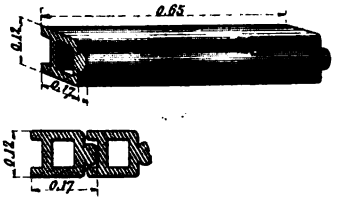


Fig. 20 et 21.

La maison Gilardoni fait aussi, pour remplissages et murs, des *blocs creux* ayant le cube de 16 briques ordinaires. La face externe du bloc est taillée de raies simulant des joints.

Ces blocs coûtent 1 franc pièce, avec moins de frais de pose que ne nécessiterait le même cube de briques; de plus, le parement est tout fait. Les constructeurs estiment de 30 à 40 0/0 l'économie produite par l'emploi de ces blocs.

Il est évident cependant que ces blocs ne peuvent être employés dans les parties portantes des constructions.

Briques tubulaires Cartaux. — Elles ont $0^m,33 \times 0^m,16 \times 0^m,10$ et présentent deux vides cylindriques longitudinaux; elles servent pour hourdis de planchers en fer.

Briques tubulaires Perrière. — Plates ou cintrées, elles ont des dimensions proportionnées à l'écartement des solives d'un plancher et constituent ainsi un hourdis creux, léger, solide, isolant.

Briques légères. — On a imaginé de mêler à l'argile de la sciure de bois, du coke, du liège, du tan, pour obtenir des briques légères; certaines de ces briques ne s'enfoncent pas dans l'eau.

On fait aussi des briques plus légères que l'eau, et réfractaires, en mélangeant de 1/20 d'argile avec une magnésite poreuse composée de 55 de silice, 15 de magnésie, 14 d'eau, 12 d'alumine, 3 de chaux et 1 d'oxyde de fer ; une brique ainsi fabriquée pèse $0^{kg},45$ et offre plus de résistance sous le même poids que la brique commune; de plus, elle conduit mal la chaleur. On obtient les mêmes résultats par le mélange de certains tufs siliceux avec 1/25 d'argile.

On fait avec l'argile appelée *farine fossile* des briques qui sont moins denses que l'eau, tout à fait réfractaires, et qui conduisent très mal la chaleur.

Briques circulaires. — Ces briques, de l'invention de Gourlier, sont employées dans la construction des tuyaux de cheminées, dans l'épaisseur des murs. Elles se relient bien avec la maçonnerie, et remplacent avec avantage les anciens coffres de cheminées, si sujets à se crevasser et à exposer aux incendies. On en fait pour tuyaux circulaires de $0^m,23$ et $0^m,25$ de diamètre, et pour tuyaux rectangulaires à angles arrondis, de $0^m,25$ de large

sur 0m,14 à 0m,40 de long. 15 assises de ces briques font 1 mètre de hauteur de tuyau.

Elles sont cintrées sur une ou deux de leurs faces. On leur donne les noms d'*équerre* (*fig.* 24), de *plat à barbe* (*fig.* 25), de *chapeau du commissaire* (*fig.* 23), de *violon* (*fig.* 22)[1].

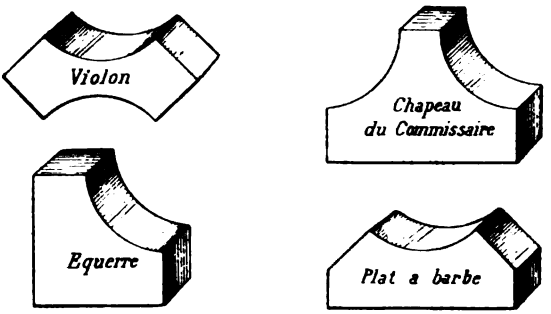


Fig. 22 à 25.

Briques réfractaires. — Ces briques se fabriquent dans les localités où se trouvent des argiles pures ou exemptes de chaux, de potasse, de pyrites de fer. Ces terres sont aussi employées pour cimenter les briques réfractaires.

Les briques réfractaires les plus estimées sont celles du Moutet (Saône-et-Loire), de Forges-les-Eaux (Seine-Inférieure), de Sept-Veilles, de Courpières (Puy-de-Dôme), de Meillonas (près Metz), et enfin les briques des bonnes marques de Bourgogne.

Les briques réfractaires communes, dites de *pays* ou *de plaine*, se fabriquent dans les environs de Paris (Versailles, Saint-Denis, Sarcelles, etc.). Elles valent de 45 à 48 francs le mille sur chantier, tandis que celles de Bourgogne valent de 68 à 100 francs, suivant les qualités.

Résistance des briques. — Les bonnes briques ordinaires pleines résistent à l'écrasement, à des pressions variant entre 100 et 200 kilogr. par centimètre carré; cette résistance tombe à 39 kilogr. pour certaines briques communes. A la traction, les briques peuvent supporter un effort de 18 à 20 kilogr. par centimètre carré. En pratique, il convient de ne pas dépasser une charge d'écrasement de 12 kilogr. par centimètre carré pour les briques fabriquées à la machine et posées sur mortier de ciment.

Les briques *hollandaises* (faites avec de l'argile concrétionnée et vitrifiée extérieurement par du sable quartzeux) atteignent, d'après

[1] Voir plus loin : *Fumisterie*.

des expériences faites à Berlin, une résistance de 379 kilogr. par centimètre carré; elles mesurent $0^m,26 \times 0^m,12 \times 0^m,054$.

Certaines briques creuses peuvent résister jusqu'à 194 kilogr.

Certaines briques *poreuses* (moins lourdes et contenant du lignite et de la sciure de bois, jusqu'à 1/2 de la terre à mouler) ont une résistance de 184 kilogr. si elles sont pleines, et de 84 kilogr. si elles sont creuses.

Le poids du mètre cube de briques hourdées avec du ciment ordinaire est de 1.700 à 1.800 kilogr.

Dimensions et prix des briques

(*prix dans Paris, compris transport à pied-d'œuvre*)

(Droit d'octroi : 0 fr. 30 les 100 kilogr.)

Briques pleines de Vaugirard	le mille
Moule Bourgogne, 0,052 × 0,105 × 0,22 (poids : $2^{kg},42$)	66 fr.
Façon Bourgogne	66 »
Carrées, 0,075 × 0,100 × 0,22	68 »
Briques, 0,15 × 0,065 × 0,22	100 »
— 0,15 × 0,075 × 0,22	110 »
Qualité Bourgogne, marque S. C.	70 »
Briquettes 0,027 × 0,11 et 0,22	55 »
Cintrées pour mur de 0,50 (ravalé)	150 »
— — 0,45	140 »
— — 0,40	130 »
Briques réfractaires	90 »
— (S. C.)	70 »
— ordinaires (F. B.)	60 »
Briquettes réfractaires	75 »
Terre à four le mètre.	12 »

Vides dans la longueur	*Briques creuses de Vaugirard*	Prix du mille	Poids d'une brique
3	0,045 × 0,15 × 0,22 (27 par m. sur champ)	62 fr.	$1^k,41$
6	0,065 × 0,11 × 0,22 (40 sur champ ou 66 par m. sup.)	62 »	1 60
9	0,11 × 0,11 × 0,22 (40 par mètre sur champ)	90 »	2 34
6	0,07 × 0,15 × 0,30 (28 sur champ ou 30 au mètre à plat)	106 »	3 60
4	0,10 × 0,12 × 0,30 (25 ou 29 par mètre)	106 »	3 20
3	0,045 × 0,15 × 0,30 (20 par mètre)	80 »	2 30
6	0,07 × 0,15 × 0,22 (27 par mètre)	90 »	2 65
6	0,11 × 0,18 × 0,22 (25 par mètre)	132 »	3 00
2	0,07 × 0,15 × 0,30 (20 ou 28 par mètre)	96 »	2 49
3	0,055 × 0,18 × 0,22 (25 par mètre)	67 »	1 70

	le mille
Briques pleines de Bourgogne de choix	83 fr.
— — — ordinaires	78 »
— brunes de Saint-Aubin (Eure)	66 à 72 »
— de Mortcerf (Seine-et-Marne)	64 à 68 »
— rouges de Sannois (Seine-et-Oise)	62 à 65 »
— de Gournay (0,054 à 0,065 × 0,11 et 0,22)	54 à 62 »

Briques creuses de Montchanin

0,260 × 0,125 × 0,046 (30 par m² posées sur champ); poids, 2 kg. (45 fr. le 1.000 à l'usine).

Briques cintrées de Montchanin (*fig.* 26 à 29).

0,220 × 0,110 × 0,055 (100 fr. le 1.000 à l'usine).
(On les fabrique avec le rayon que l'on commande.)
(Poids moyen : 2kg,700.)

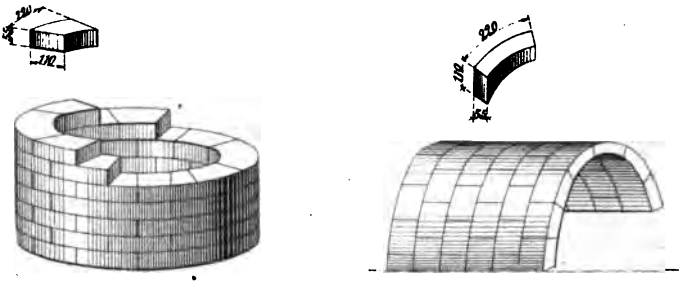


Fig. 26 à 29.

Claveaux : Couteaux et coins réfractaires de Montchanin

0,22 × 0,11 × 07/04 (poids, 2k,700) : 60 fr. le 1.000 à l'usine.
— × 03/05 (poids, 2k)... 60 fr. —

Briques en porcelaine (*Mouret*). — Ces briques creuses de 0m,22 × 0m,12 × 0m,06 se vendent 0 fr. 65 pièce ; grâce à leur imperméabilité et à leur inaltérabilité, leur durée est considérée comme indéfinie. Employées depuis longtemps en Chine, les briques en porcelaine, grâce à leur durée, deviendraient, à la longue, moins coûteuses que les briques ordinaires.

Briques en laitier. — Avec les laitiers et scories des forges et hauts-fourneaux, on fabrique à Saint-Dizier (Haute-Marne) des briques couleur gris blanc, mais qu'on peut colorer, qui ont 0m,22 ou 0m,24 × 0m,105 ou 0m,16 × 0m,06 ou 0m,105 ; elles pèsent 2kg,60 ou 4kg,50, et valent à l'usine de 30 à 33 francs et de 50 à 55 francs le mille. Elles se taillent facilement ; leur grain est un peu gros, mais leurs arêtes sont vives et l'on peut obtenir avec elles de beaux parements. Leur résistance varie de 100 à 188 kilogr., par centimètre carré. Leur capacité d'absorption de l'eau ne dépasse pas 67 kilogr. par mètre cube, tandis que celle des briques en terre cuite de Saint-Dizier est de 200 kilogr. Elles sont plus légères que ces dernières et conduisent mal la chaleur. Leur résistance aux intempéries et à la gelée est très grande, dans l'eau ou à l'air libre. Les briques en laitier de Sion-Saint-André, près Marseille, ont les mêmes qualités.

Briques de liège. — Ces briques, sortes d'agglomérés fabri-

qués avec du liège pulvérisé, pèsent 5 à 6 fois moins que la brique de Bourgogne, à dimensions égales, soit 380 grammes pour la brique de liège de $0^m,22 \times 0^m,11 \times 0^m,06$; il faut 38 de ces briques par mètre carré sur champ et 67 à plat; le prix de 1.000 en gare de Paris est de 115 francs (Demuth au Muy, Var).

Résistance à l'écrasement : $14^{kg},5$ par centimètre carré. Ces briques chassent l'humidité et sont applicables pour cloisons, voûtes, combles, toitures, etc.

Dimensions normales des briques. — Le nombre des modèles de briques, au point de vue de leurs dimensions, est considérable : de là bien des mécomptes. L'Union céramique et chaufournière de France, en 1885, réduisit à deux types les constructions en briques : les constructions entièrement en briques et les constructions mixtes (pierres et briques). Les premières exigent une relation simple entre leurs dimensions, afin que l'on puisse alterner les joints, aussi bien dans le plan horizontal que dans les plans verticaux. L'appareil vertical est le moins important, et c'est dans des cas spéciaux qu'il est nécessaire de racheter une hauteur par des briques placées debout. Dans la construction mixte formée de pierres et de briques, la pierre forme les chaînes, les angles, les corniches, les parties en façade des ouvrages. Les briques jouent le rôle de remplissage, et le soin consiste à faire en sorte que les épaisseurs et les hauteurs des murs comprennent un nombre exact de briques, en tenant compte du sens dans lequel elles sont placées dans l'appareil et aussi de l'épaisseur du joint; on voit qu'on aura un appareil horizontal satisfaisant en admettant que la brique posée à plat ait une longueur L double de sa largeur l, plus l'épaisseur j du joint, c'est-à-dire en satisfaisant à l'égalité :

$$L = 2l + j \qquad (1)$$

Pour l'appareil vertical, on peut *a priori* admettre que la longueur L de la brique comprendra 4 fois son épaisseur e plus 3 joints j, ou bien que la largeur l comprendra 2 fois son épaisseur e plus un joint j, c'est-à-dire qu'on aura les relations :

$$L = 4e + 3j \qquad (2)$$

$$l = 2e + j. \qquad (3)$$

On pourrait déterminer les dimensions d'une brique en partant de la longueur L et de l'épaisseur j des joints. Pour la longueur $L = 0^m,23$, et une épaisseur de joint égale à $0^m,01$, la formule (1) donne $0^m,11$ pour la largeur, et les formules (2) et (3) donnent $e = 0^m,05$. On obtiendrait ainsi une brique dont les dimensions normales $22 \times 11 \times 5$ seraient satisfaisantes, tant au point de vue des combinaisons de l'appareil horizontal que de l'appareil vertical. La longueur de la brique et l'épaisseur des joints ne peuvent pas varier dans une grande étendue, car les dimensions ne

peuvent dépasser celles qui assurent à la brique une bonne cuisson sans gauchissement. A cet égard, on ne peut donc s'éloigner des dimensions de la brique de Bourgogne : 0,22 × 0,10 × 0,054, qui ne remplit aucune des conditions concernant l'appareil horizontal et l'appareil vertical, mais qui doit être considérée comme un type dont on doit se rapprocher. Quant à l'épaisseur des joints, on devrait pouvoir la faire varier avec la nature des mortiers, les mortiers à prise lente admettant une épaisseur plus grande que les mortiers à prise rapide. L'épaisseur de $0^m,01$ paraît un peu forte pour les mortiers de chaux hydraulique. Avec des mortiers de Portland l'épaisseur de $0^m,005$ à $0^m,006$ suffirait. L'épaisseur normale adoptée par la Commission est de $0^m,008$, et cette épaisseur a conduit à adopter pour les dimensions normales de la brique : 0,220 × 0,106 × 0,054.

D'après cela, l'épaisseur de $0^m,054$ est celle de la brique de Bourgogne, et les dimensions répondent à l'appareil du plan. On a la relation :

$$0,220 = 0,106 \times 2 \times 0,008.$$

Ces dimensions ne répondent pas à l'appareil vertical, mais cette condition pouvait être sacrifiée sans inconvénient. La Commission a fait adopter le type normal par la Société des Ingénieurs civils, par la Société centrale des Architectes, et l'a fait entrer dans la série des prix sous la dénomination de *brique de l'Union céramique et chaufournière de France.*

Poteries. — On désigne ainsi les *boisseaux* en terre cuite pour tuyaux de cheminées, les pots pour *ventouses* à courant d'air, les *mitres* en terre, dites *à la Fougerole*, etc. Ces divers objets sont en grès ou en terre cuite, préparée à peu près de la même manière que celle employée à la fabrication des briques.

On a substitué aux planchers en bois des espèces de voûtes en brique ou en poteries creuses hourdées en plâtre ou en mortier et consolidées par des fermes en fer. Ce genre de construction joint la solidité à la légèreté, et met les édifices à l'abri des incendies (Voir plus loin, *Planchers*).

On fait des poteries de formes et de dimensions diverses, pour voûtes et pour cloisons (*fig.* 4 à 21) ; certaines ont la forme d'un pot à fleurs fermé aux deux extrémités, et dont les dimensions habituelles sont $0^m,10$ de diamètre moyen sur $0^m,15$ de hauteur ; les autres sont des cylindres de $0^m,05$ de hauteur seulement sur $0^m,17$ de diamètre. Ces poteries se fabriquent au moyen d'un tour de potier. Dans le Midi de la France on fabrique, pour voûtes légères, des prismes creux en terre cuite, qui ont $0^m,14$ de hauteur, des bases hexagonales inscrites dans des cercles de $0^m,17$ de diamètre, et dont le vide est cylindrique.

On fait des *briques-voussoirs* creuses ou pleines moulées, en

forme de coins, et servant à la construction d'arcs et de voûtes (*fig.* 11, 13, 16, 26, etc.).

On fait aussi des poteries avec du plâtre et des plâtras pour hourdis de planchers et conduits de fumée. Dans cette dernière application, peu recommandable, on mélange au plâtre des scories et on consolide le tout par une armature en fil de fer.

Carreaux. — On nomme ainsi de petites dalles employées au pavage des chambres. On en fait en pierre calcaire, souvent à l'état de marbre ; on leur donne les formes triangulaire, carrée, hexagonale, octogonale, employées séparément ou combinées.

Les carreaux les plus employés sont hexagonaux et en terre cuite, préparée comme pour les briques, si ce n'est que la pâte doit être plus fine et la cuisson plus parfaite. On en fait de deux grandeurs : les uns, employés au pavage des chambres, ont $0^m,027$ d'épaisseur et sont inscrits dans un cercle de $0^m,20$ de diamètre, les autres sont inscrits dans un cercle de $0^m,14$ de diamètre ; il en faut respectivement 40 et 80 pour couvrir 1 mètre de surface ; le poids du mille varie de 800 à 900, et de 350 à 400 kilogr. Ceux qu'on emploie à Paris sont fabriqués en Bourgogne, à Massy, à Paris. Les premiers sont les meilleurs, surtout pour lieux humides.

On fait en terre cuite des carreaux carrés, qu'on emploie pour couvrir les fourneaux de cuisine ou daller les cheminées d'appartements. Ceux des deux premiers échantillons ont $0^m,027$ d'épaisseur, et respectivement $0^m,20$ et $0^m,16$ de côté ; ceux du troisième, appelés *carreaux à bandes*, ont $0^m,16$ de côté et seulement $0^m,02$ d'épaisseur.

A Lyon, à Marseille et dans le Midi, on emploie des carreaux carrés et hexagonaux, dont la surface est vernie ou polie. Lorsqu'on les essuie avec un linge gras, ils acquièrent un aspect de propreté que la peinture à l'huile et l'encaustique sont loin d'atteindre. Les fabriques de briques de Trèbes, près Carcassonne, et de Saint-Henri, près Marseille, ont une réputation pour ce genre de carreaux.

Le peu d'épaisseur des carreaux les fait quelquefois gauchir au feu, au point de les rendre impropres à faire des carrelages sans *balèvres ;* on est alors obligé de les dresser au grès, ce qui est dispendieux.

Les carreaux en pierre naturelle, employés à Paris, sont : les carreaux en ardoises auxquels on donne les formes carrée ou losange, polygonale et circulaire, et qui ont de $0^m,020$ à $0^m,025$ d'épaisseur ; les carreaux carrés en marbre noir de Belgique ; les carreaux carrés ou octogonaux en liais de Grimault, liais dit de Créteil, en pierre de Tonnerre, etc. (Voir plus loin, *Carrelage*).

Chaux. — La chaux pure est du protoxyde de calcium (CaO) ; elle est blanche, caustique, attaque les matières animales. Elle ramène au bleu la teinture du tournesol, rougie par un acide,

verdit le sirop de violette, rougit la teinture de curcuma. Le poids de son équivalent est de 350, et sa densité est de 2,3. Elle est infusible aux températures élevées.

Le carbonate de chaux pur (CO^2,CaO) se compose de 56 de chaux et de 44 d'acide carbonique.

Pour obtenir de la chaux bien pure, on soumet à une température très élevée, dans un creuset de terre, du marbre blanc statuaire ou du spath d'Islande ; l'acide carbonique se dégage, et la chaux caustique reste dans le creuset.

La chaux se combine avec l'eau en dégageant beaucoup de chaleur ; une portion de l'eau s'échappe en vapeur, et l'élévation de température est souvent assez grande pour enflammer la poudre (300° environ) ; elle fait entendre le même bruit qu'un fer rouge trempé dans l'eau ; on dit qu'elle *fuse*. L'opération par laquelle on combine la chaux avec l'eau s'appelle *éteindre la chaux*, et la *chaux hydratée* qu'on obtient prend le nom de *chaux éteinte*, pour la distinguer de la *chaux anhydre*, qu'on appelle *chaux vive* ou *caustique*. La chaux, en s'hydratant, augmente considérablement de volume ; on dit qu'elle *foisonne*. Si la quantité d'eau n'est pas trop grande, il se forme un monohydrate de chaux (CaO + HO), qui reste sous la forme d'une poudre blanche, fine, douce au toucher. En ajoutant une plus grande quantité d'eau, la chaux reste en suspension quand on agite, et l'on obtient un *lait de chaux* (*laitance*).

La chaux se dissout dans 700 fois son poids d'eau à la température de 15°, et dans 1.270 fois à la température d'ébullition. La dissolution prend le nom d'*eau de chaux ;* elle exerce une réaction fortement alcaline.

La chaux vive exposée à l'air attire rapidement l'eau et l'acide carbonique de l'atmosphère ; elle se *délite*, c'est-à-dire tombe en poussière, et elle ne s'échauffe plus ensuite quand on la mouille avec de l'eau. Le produit qu'on obtient ainsi à l'air est un composé de carbonate et d'hydrate de chaux ($CaO.CO^2$ + CaO.HO), auquel se trouve mélangé beaucoup d'hydrate de chaux, dû à ce que l'air atmosphérique contient beaucoup plus de vapeur d'eau que d'acide carbonique ; à la longue, l'absorption de l'acide carbonique continuant, la matière se rapproche de plus en plus de la formule précédente.

La chaux pour la confection des mortiers s'obtient en calcinant le carbonate de chaux dans des *fours à chaux*. La décomposition a lieu à une température bien inférieure à celle nécessaire à l'opération dans des creusets fermés ; ce qui est dû au courant d'air et de gaz, lequel n'est composé d'acide carbonique qu'en faible proportion, et qui, en traversant la masse, facilite la décomposition. La cuisson de la chaux est facilitée par la présence de la vapeur d'eau ; les chaufourniers préfèrent employer une

pierre encore imprégnée de son eau de carrière, à celle qui a subi une certaine dessiccation à l'air.

Souvent une partie du calcaire n'a pas été complètement décomposée par la chaleur et retient une plus ou moins grande proportion d'acide carbonique; on donne à ces produits le nom d'*incuits*. Les incuits ne font pas prise en même temps que la chaux proprement dite. Ce sont ces incuits ou les chaux-limites (voir p. 85 et 87) qui produisent les dégradations des joints, chutes efflorescences, poussées et accidents divers.

Une calcination trop forte produit des *frittes*, c'est-à-dire la vitrification d'une partie des produits.

Les *pierres à chaux* sont les pierres qui contiennent le carbonate de chaux, lequel, soumis à une température suffisante, perd son acide carbonique et fournit la chaux.

Toutes les pierres calcaires peuvent se convertir en chaux par la **calcination**; toutes font effervescence quand on en jette un fragment dans l'acide azotique (eau-forte) ou un autre acide. Une pointe de fer suffit pour les rayer.

Les pierres calcaires sont rarement du carbonate de chaux pur; celles qu'on soumet à la cuisson en grand renferment du quartz, des oxydes de feret de manganèse, de la magnésie, de l'argile, etc.

Chaux grasse. — La *chaux grasse* provient de la calcination du marbre et des calcaires exempts d'argiles, contenant moins de 1/10 de matières étrangères; elle est ordinairement blanche, foisonne de 2 ou 3 fois son volume avec l'eau, s'échauffe beaucoup, forme une pâte liante, grasse au toucher.

Dans les mortiers cette chaux, en séchant et en fixant l'acide carbonique de l'atmosphère, durcit en passant à l'état de carbonate, ou mieux d'hydrocarbonate. Le sable ne remplit qu'un rôle mécanique; il sert à diviser la chaux, à augmenter sa perméabilité ; il joue le rôle de centres ou noyaux autour desquels se cristallise le carbonate de chaux ; il empêche la matière de prendre un trop grand retrait en séchant. Les parties de mortier qui sont en contact immédiat avec l'air se changent entièrement en carbonate de chaux; mais les parties intérieures passent à l'état d'une combinaison de carbonate de chaux et d'hydrate, qui acquiert beaucoup de dureté. Il faut un temps extrêmement long pour que cette conversion ait lieu; au bout d'un grand nombre d'années, la chaux existe encore à l'état de chaux hydratée dans l'épaisseur des murs. Il ne faut pas placer ces mortiers dans l'intérieur de constructions trop épaisses, où ils ne peuvent sécher, et il faut s'en abstenir dans les lieux humides ou souterrains et à plus forte raison sous l'eau, où ils se délayent.

La transformation de la chaux est accompagnée d'un retrait. Pour combattre cet effet, on mélange 3 à 4 parties de sable bien lavé avec 1 de chaux, et on ne laisse, entre les pierres que l'on

veut cimenter, qu'une faible épaisseur de mortier, afin que l'acide carbonique de l'air puisse agir longtemps.

Le mortier prend une plus grande consistance que l'hydrate de chaux pur, et l'adhérence de celui-ci à la pierre est plus grande que sa cohésion. Il convient, pour faciliter le durcissement du mortier, qu'il ne soit pas placé en couches trop épaisses entre les pierres.

Les pierres ne doivent pas être trop sèches, sans quoi elles absorbent l'eau de l'hydrate, lequel, durcissant trop promptement, n'acquiert pas toute la consistance dont il est susceptible. C'est pourquoi on projette de l'eau sur la surface des pierres qui sont trop sèches avant d'y appliquer le mortier.

Le volume de la chaux grasse augmente à l'extinction au moins de 1/4 de son volume primitif, souvent de 2 fois 1/2 ce volume, et quelquefois de 3 à 4 fois. Cette chaux fournit une grande quantité de mortier; on l'emploie pour les maçonneries ordinaires, mais il faut s'en abstenir pour les travaux hydrauliques ou souterrains, car elle ne durcit qu'imparfaitement.

Dans un grand volume d'eau la chaux grasse se combine avec un poids d'eau à peu près égal au 0,25 du sien; retirée et exposée à l'air, elle fuse avec dégagement de chaleur en se réduisant en poudre impalpable. L'*hydrate de chaux* obtenu peut encore absorber une grande quantité d'eau, mais sans qu'il y ait ni combinaison, ni dégagement de chaleur. Cet excès d'eau, qui donne naissance à une pâte plus ou moins ferme, peut se dégager en grande quantité par le rebattage; il est inutile d'en ajouter de la nouvelle quand on fabrique le mortier.

Les mortiers de cette chaux restent mous, comme le ferait la chaux seule, quand on les prive du contact de l'air ou plutôt de l'acide carbonique.

D'après Vicat, 100 parties de chaux grasse absorbent, en se solidifiant, 74 parties d'acide carbonique et en retiennent 17 d'eau. Plus la chaux est grasse, plus elle est caustique; il ne faut pas la prendre avec les mains.

Chaux maigre. — Quand le calcaire soumis à la cuisson renferme 10 à 20 0/0 de matières étrangères, telles que sables quartzeux, oxydes de fer et de manganèse, carbonate magnésien, la chaux obtenue, dite *chaux maigre*, développe peu de chaleur quand on la met en contact avec l'eau; elle foisonne moins que la chaux grasse, et ne forme pas une pâte liante. Comme la chaux grasse, elle durcit à l'air avec le temps, et aussi se désagrège dans l'eau. A défaut d'autre, on l'emploie aux mêmes usages que la chaux grasse. Elle est grise ou fauve.

Chaux hydraulique. — Si la matière étrangère que contient le calcaire est de l'argile, ou de la silice dans un certain état de division, et que sa proportion s'élève au moins à 10 ou 15 0/0

du poids du calcaire, la chaux qui en résulte est encore une *chaux maigre ;* elle ne foisonne pas ou très peu, et ne développe pas de chaleur à l'extinction; mais elle jouit de la propriété remarquable de faire prise sous l'eau (tandis que les deux précédentes s'y dissolvent), après 2 ou 4 jours d'immersion, pourvu qu'elle n'ait pas été trop fortement calcinée. Cette propriété lui a fait donner le nom de *chaux hydraulique.*

Elle ne prend à l'air qu'une médiocre consistance. Sous l'eau, au bout d'un mois, elle est dure; au bout de 5 mois, elle est aussi dure que le calcaire et se brise sous le choc.

L'hydraulicité de cette chaux est due à ce que, pendant la cuisson du calcaire, il s'établit une combinaison chimique entre la chaux et la silice divisée à laquelle elle est mélangée, soit que cette dernière y existe à l'état libre, soit qu'elle s'y rencontre à l'état d'argile. Il faut pour cela que la silice soit en gelée ou réduite à un état de ténuité extrême. En effet, si l'on traite la chaux hydraulique par un acide, on met en liberté de la silice en gelée, ce qui prouve que cette substance s'y trouvait à l'état de combinaison. En mélangeant du sable quartzeux avec une quantité convenable de carbonate de chaux, on n'obtient jamais qu'une chaux maigre non hydraulique ; si l'on remplace le sable par un poids égal de silice gélatineuse desséchée, puis amenée sous forme de poussière farineuse, on obtient une chaux douée de propriétés hydrauliques.

La solidification des chaux hydrauliques sous l'eau provient d'une combinaison qui se fait entre l'hydrate de chaux et les silicates d'alumine et de chaux ; cette combinaison détermine une nouvelle agrégation de la matière, et rend la chaux insoluble.

L'argile et la silice désagrégée ne sont pas les seules matières qui communiquent à la chaux des propriétés hydrauliques. La magnésie produit, à un moindre degré, un effet semblable. Le carbonate de chaux, lorsqu'il est mélangé dans des proportions convenables à la chaux, lui fait acquérir de faibles propriétés hydrauliques : tel est le résultat que présentent les *incuits.*

La chaux hydraulique éteinte à la manière ordinaire retient, comme la chaux grasse, une certaine quantité d'eau, et forme avec une addition d'eau, une pâte plus ou moins ferme, laquelle, exposée à l'air, se solidifie en absorbant une moindre quantité d'acide carbonique que la chaux grasse, et en retenant également une certaine proportion d'eau.

D'après Vicat, 100 parties d'une chaux hydraulique contenant 1/5 de son poids d'argile absorbent, en se solidifiant, 54 parties d'acide carbonique et en retiennent 15 d'eau. Ce produit, composé de 100 parties de chaux, 25 d'argile, 67,5 d'acide carbonique et 18,7 d'eau, est encore un hydrocarbonate de chaux, dans lequel l'argile paraît être en dehors de la combinaison.

Les chaux hydrauliques sont blanches, quelquefois verdâtres. Avec un mélange de 4 parties de craie et 1 d'argile, on fabrique des briques qu'on cuit ensuite.

Chaux-ciment ou ciment romain, ou ciment anglais de Parker. — On trouve dans la nature des mélanges intimes de calcaires et d'argile, des *calcaires argileux*, qui donnent immédiatement des chaux hydrauliques à la cuisson. Pour qu'un calcaire possède les propriétés hydrauliques, il doit renfermer 10 ou 12 0/0 d'argile. La chaux qui en provient, gâchée avec de l'eau, durcit en 20 jours dans les lieux humides ou sous l'eau. Quand le calcaire renferme de 20 à 25 0/0 d'argile, la chaux gâchée fait prise en 2 ou 3 jours. Si le calcaire renferme de 25 à 35 0/0 d'argile, la chaux fait prise en quelques heures, et on lui donne le nom de *chaux-ciment* ou de *ciment romain*.

Lorsque les calcaires renferment plus de 35 0/0 d'argile, ils ne donnent plus de ciment par la cuisson ; la matière ne fournit plus une pâte assez liante avec l'eau.

La chaux-ciment n'est plus susceptible de fuser; mais, réduite en poudre, puis en pâte, elle prend corps facilement. A la cuisson, il se forme un silicate de chaux plus ou moins abondant, et la chaux qui est restée libre ne peut pas fuser, de sorte que l'eau est sans action sur toute la masse de cette chaux quand elle sort du four ; mais, réduite en poudre et mouillée d'une quantité d'eau suffisante pour en faire une pâte, il se produit une cristallisation confuse, et la pâte prend corps sous l'eau.

La chaux-ciment fait prise rapidement quand elle n'a pas été exposée à l'air depuis sa sortie du four; à ce moment, sa prise est quelquefois si rapide qu'on n'a pas le temps de l'employer.

Pour la cuisson des calcaires hydrauliques, et surtout celle des ciments, si la température s'élève trop, la matière acquiert de l'agrégation, par suite d'une combinaison trop intime de la chaux avec le silicate d'alumine, et il ne se forme plus de nouvelle combinaison lorsqu'on mélange la matière avec l'eau. La chaleur doit être seulement suffisante pour faire perdre au carbonate de chaux la plus grande partie de l'acide carbonique, et à l'argile son eau.

On mélange avec les ciments, et surtout avec les chaux hydrauliques, des sables quartzeux, dans le but d'augmenter leur dureté et de faire prendre au mortier un plus grand volume.

Composition de quelques chaux (*d'après Berthier*)

Chaux grasse de Château-Landon.....	96,40 chaux pure. 1,80 magnésie. 1,80 argile (silice et alumine).
Chaux maigre non hydraulique de Coulommiers.....	78,00 chaux pure. 20,00 magnésie. 2,00 argile (silice et alumine).

Chaux moyennement hydraulique de Saint-Germain.....	89,00	chaux pure.
	1,00	magnésie.
	10,00	argile (silice et alumine).
Chaux très hydraulique de Senonches.	70,00	chaux pure.
	1,00	magnésie.
	29,00	silice.
Chaux maigre non hydraulique de Brest.	82,30	chaux pure.
	10,00	oxyde de fer.
	7.70	argile.

La magnésie et l'oxyde de fer rendent la chaux maigre non hydraulique. La silice pure ou mélangée d'alumine lui communique la propriété hydraulique.

Vicat et Berthier ont reconnu :

1° Que la silice en gelée, calcinée avec de la chaux pure, donnait un produit hydraulique ;

2° Que l'alumine, la magnésie, l'oxyde de fer et celui de manganèse, calcinés un à un avec de la chaux pure, donnaient une chaux maigre ;

3° Que l'alumine et la magnésie, mêlées avec la silice, exaltaient la propriété hydraulique ; les proportions les plus convenables pour ce mélange sont 1 partie de silice pour 1 partie d'alumine ou 1 partie de magnésie.

Les chaux maigres non hydrauliques, c'est-à-dire les chaux ou carbonates de chaux dans lesquels il entre une quantité notable d'oxyde de fer ou de manganèse, ne sont pas propres à la transformation en chaux hydraulique par le concours de l'argile et du feu ; on est obligé, pour leur donner cette qualité, d'employer la pouzzolane ou ciment hydraulique obtenu par la calcination de l'argile calcaire.

Avec les chaux hydrauliques qui contiennent la *limite* d'argile, c'est-à-dire 34 d'argile pour 65 de chaux, on fait d'excellents mortiers qui durcissent rapidement ; il faut que toutes les molécules de chaux soient attaquées par l'eau au moment de l'extinction ; s'il en reste de libres, elles fusent dans la masse et en désagrègent les parties qui ne peuvent plus prendre de consistance. On peut pulvériser ces chaux-limites, comme on le fait pour les chaux-ciments ; toutes les molécules de chaux étant ainsi mises dans les mêmes conditions pour leur extinction, l'inconvénient signalé n'est plus à redouter.

Lorsqu'on a fait l'analyse d'un échantillon de calcaire, il est facile d'en conclure l'indice d'hydraulicité. On fait la somme des nombres représentant les proportions des divers éléments de l'argile non solubles dans les acides, c'est-à-dire de la silice et de l'alumine, en exceptant le sable. Puis on calcule le rapport de cette somme au nombre qui exprime la dose de chaux caustique contenue dans l'échantillon.

Classification des chaux, ciments et pouzzolanes

PRODUITS	PROPORTIONS MOYENNES DE chaux	PROPORTIONS MOYENNES DE argile	DEGRÉ D'HYDRAULICITÉ ou rapport de l'argile à la chaux caustique	DURÉE DE LA PRISE dans l'eau	OBSERVATIONS
Chaux grasse ou maigre.....	100	0	0,00 à 0,10	»	Soluble dans l'eau.
— faiblement hydraulique..	90	10	0,10 à 0,16	20 jours	Continue à durcir après le 15e jour, très lentement après 6 mois; se dissout encore dans l'eau pure, mais difficilement.
— moyennement —	82	18	0,16 à 0,31	15	
— bien —	80	20	0,31 à 0,42	6 à 8	
— hydraulique ordinaire...	74	26	. . . . .	. . . . .	Dure au bout de 6 mois, comme la pierre tendre.
— éminemment hydraulique	70	30	0,42 à 0,50	2 à 4	Dure après 1 mois; après 6 mois, cassure écailleuse.
Chaux-limites.....	65	35	0,50 à 0,65	0	Prise instantanée, ne fusent pas; après quelques heures de prise, tombent en poussière; dangereux à employer.
Ciments-limites inférieurs.....	60	40	0,65 à 1,20	»	Prise persistante; se lient mieux au sable que les ciments plus maigres.
Ciments ordinaires	50	50	1,20 à 3,00	»	
— limites supérieurs.....	27	73			
Pouzzolanes	10	90	3,00 et au dessus	»	
Argile pure.....	0	100	100	»	

Soit à calculer l'indice d'hydraulicité d'un échantillon de calcaire qui contient 94,7 de carbonate de chaux et 5,3 d'argile. Les équivalents chimiques de la chaux caustique et du carbonate de chaux étant 28 et 50, la chaux caustique contenue dans l'échantillon est $94,7 \times \frac{28}{50} = 53$. Le rapport de l'argile à la chaux est donc $\frac{5,3}{53} = 0,10$.

Composition des chaux hydrauliques et des ciments à l'état naturel, avant la cuisson (*d'après Vicat*)

	CARBONATE DE CHAUX	ARGILE
Chaux faiblement hydraulique	89	11
Chaux hydraulique ordinaire	83	17
Chaux éminemment hydraulique	80	20
Chaux-limites	77	23
Ciments-limites inférieurs	73	27
Ciments ordinaires	64	36
Ciments-limites supérieurs	39	61
Commencement de pouzzolane	16,4	83,6

Au-dessous de 10 0/0 d'argile, toutes les chaux obtenues après la cuisson sont grasses. Pour les proportions de 10 à 20 0/0 d'argile, on passe d'un durcissement très faible sous l'eau à une hydraulicité complète. A 23 0/0 d'argile, la cuisson fournit un produit difficile à éteindre sous l'eau ; l'extinction peut ne se produire qu'après l'emploi et provoquer la dislocation des mortiers. Ce danger existe jusqu'à 26 0/0 d'argile.

A partir de 27 0/0 d'argile, le produit ne fuse plus ; mais, réduit en poudre, puis en pâte, il fait prise plus ou moins vite à l'air ou sous l'eau, et devient très dur.

A partir de 61 0/0 d'argile, on obtient des produits incertains, irréguliers. A 83 0/0 on a un produit qui, mis en poudre et mêlé à la chaux grasse en pâte, la rend hydraulique, mais n'est pas excellent.

Le degré de calcination des calcaires a une influence marquée sur les qualités de la chaux produite. Pour reconnaître la température des fours, on y introduit des briquettes en terre qui cuisent rouges et, d'après la couleur qu'elles prennent au refroidissement, on en conjecture la température.

Le premier degré de cuisson, celui qui correspond à la teinte rose tendre qu'a prise la brique après son refroidissement, a lieu vers 700° ; il n'enlève qu'une partie de l'acide carbonique du calcaire. La chaux obtenue fuse imparfaitement ; il reste, au milieu, des parties non cuites, des *incuits*, qui sont de la pierre calcaire.

La cuisson, correspondant au rouge de la brique après son refroidissement, a chassé presque tout l'acide carbonique du calcaire ; mais la chaux obtenue ne fûse pas encore complètement, et le mortier qui en est fait se désagrège assez facilement à l'air.

Le troisième degré de cuisson, qui correspond à la teinte violette que prend la brique refroidie, a lieu vers 950° à 1.100° et produit la cuisson parfaite de la chaux.

Le quatrième degré, la vitrification, donne une chaux qui ne fuse plus. La chaux grasse cuite à ce degré, puis réduite en poudre, durcit un peu sous l'eau, mais il faut la rejeter.

Les chaux hydrauliques et les ciments durcissent dès qu'ils peuvent faire pâte ; mais le meilleur produit est celui qui, avant la cuisson, est composé de 23 d'argile et de 77 de carbonate de chaux. Cette composition, qui correspond à une chaux-limite, est celle qui, sous l'influence de la cuisson extrême (vitrification), donne le meilleur des ciments, celui de Portland.

Ainsi, des calcaires qui donnent par une cuisson modérée les chaux-limites, qui sont les plus mauvaises, fournissent *les meilleurs ciments*, rien que par l'effet d'une cuisson au 4e degré, c'est-à-dire d'une *surcuisson*.

Détermination du degré de durcissement d'une chaux dans l'air et sous l'eau. — Pour déterminer le degré de durcissement d'une chaux dans l'air, on en fait une pâte que l'on place dans un verre, et dessus on pose l'*aiguille Vicat* qu'on maintient verticale à l'aide d'un trépied. Dès que la chaux commence à durcir, elle supporte l'aiguille sans que celle-ci enfonce dans la masse.

Pour déterminer le degré de durcissement d'une chaux sous l'eau, on en fait une pâte qu'on recouvre d'eau dans un verre, et l'on note l'heure. Tant qu'il se forme une pellicule d'un aspect graisseux sur la surface de l'eau, le durcissement n'a pas commencé. Dès que la pellicule ne se forme plus, on applique sur la chaux l'aiguille Vicat, chargée non plus de 0kg,30, mais de 1 kilogr., et l'on remarque de combien elle s'enfonce. On renouvelle l'opération jusqu'à ce que l'aiguille cesse de s'enfoncer, ce qui peut n'arriver qu'après un an et même plus.

Poids du mètre cube de quelques ciments

Portland anglais	1.300 à 1.400	kilogr.
Portland de Boulogne-sur-Mer	1.300 à 1.400	—
Portland de Paris	1.300	—
Ciment de Vassy	1.100 à 1.200	—
Ciment de Pouilly (Lacordaire)	1.000	—
Ciment d'Argenteuil	900	—

Les *ciments légers à prise rapide* se composent, pour 100 de ciment, de 10 de chaux libre, pour 90 de silicate de chaux, d'aluminate de chaux et d'argile. Ils proviennent d'une propor-

tion de 27 à 61 0/0 d'argile, et le reste de carbonate de chaux.

Les *ciments lourds à prise lente* se composent, pour 100, de 5 de chaux libre pour 95 de silicate de chaux, d'aluminate de chaux et de silicates multiples.

Recherches de la chaux hydraulique. — La chaux hydraulique est fournie par la simple cuisson du calcaire qui contient tous les éléments de cette chaux. Dans les localités où ce calcaire ne se trouve pas, on fabrique cette chaux en faisant un mélange des éléments qui doivent entrer dans sa composition.

Les carrières où alternent les bancs d'argile et de pierre calcaire sont celles où il y a le plus de chance de trouver de la chaux hydraulique.

Si, en traitant un calcaire par l'acide chlorhydrique, toute la masse se dissout, on est sûr qu'il ne peut fournir qu'une chaux grasse ; s'il reste un produit insoluble, on doit s'attendre à obtenir une chaux maigre ; pour savoir si elle est hydraulique, il faut faire cuire un échantillon de cette pierre, excepté quand le résidu est un sable grossier, car alors la chaux ne vaudra rien.

La chaux hydraulique bien cuite se reconnaît à sa légèreté, à sa consistance crayeuse et à l'effervescence qu'elle fait avec l'eau lorsqu'elle n'a pas été éventée. Si elle est lourde, compacte, vitrifiée légèrement sur les arêtes, longtemps inactive après l'immersion, on en conclut que le terme de la bonne cuisson a été dépassé ; si elle fuse superficiellement en laissant un noyau, la cuisson en est incomplète.

L'inaction persévérante de la pierre cuite, lorsqu'on l'immerge, peut être due à la présence d'une trop forte proportion d'argile ; ce n'est plus alors un calcaire argileux, mais bien une véritable argile chargée de calcaire en petite quantité.

Analyse des pierres calcaires[1]. — On calcine à une forte chaleur blanche, dans un creuset de platine, 10 grammes du calcaire en petits fragments. La perte de poids p que la matière subit représente l'acide carbonique et l'eau.

On dissout 10 autres grammes de calcaire pulvérisé dans l'acide chlorhydrique faible; les carbonates de chaux et de magnésie, les oxydes métalliques se dissolvent, l'argile seule et le sable quartzeux restent. On recueille ce résidu sur un petit filtre, et, après l'avoir lavé avec un peu d'eau bouillante, on le calcine. Le poids p' obtenu représente l'argile anhydre et le quartz. Si ce résidu se compose seulement d'argile, il forme une poudre légère, douce au toucher; s'il renferme des grains quartzeux, on le reconnaît au toucher. On peut séparer ces grains quartzeux par une lévigation dans un verre.

La dissolution chlorhydrique, réunie aux eaux de lavage, est

[1] D'après Regnault.

évaporée à une douce chaleur pour chasser l'excès d'acide; on reprend par l'eau, et on verse la liqueur dans un flacon de 2 litres, que l'on peut boucher. On remplit ce flacon d'eau de chaux saturée et bien claire; après avoir agité, on abandonne la liqueur au repos : les oxydes de fer et de manganèse, la magnésie sont précipités. On décante la liqueur claire avec un siphon, après s'être assuré qu'elle présente une réaction alcaline prononcée, preuve que l'eau de chaux a été employée en excès. On recueille le précipité sur un filtre, on le lave, puis on le calcine. On détermine le poids p'' du précipité, et d'après sa couleur on juge s'il est principalement formé de magnésie ou d'hydrate de sesquioxyde de fer.

Si l'on retranche les poids p' et p'' du poids $(10 - p)$, la différence $(10 - p - p' - p'')$ représente le poids de la chaux; on détermine, par le calcul, le poids q d'acide carbonique qui forme du carbonate de chaux avec cette quantité de chaux, et le poids q' du même acide qui forme du carbonate de magnésie avec le précipité p'' donné par l'eau de chaux, si l'on compte ce précipité comme magnésie; $q + q'$ représente alors le poids de l'acide carbonique contenu dans le calcaire, et, par suite, $p - (q + q')$ la quantité d'eau.

L'équivalent de la chaux (CaO) étant 350, et celui de l'acide carbonique (CO^2) étant 275, le poids d'acide carbonique qui se combine avec celui $(10 - p - p' - p'')$ de chaux pour former du carbonate de chaux est

$$q = (10 - p - p' - p'') \times \frac{275}{350}.$$

L'équivalent de la magnésie (MgO) étant 250, on a de même

$$q' = p'' \times \frac{250}{350}.$$

Pour connaître plus complètement la composition du calcaire, il faut soumettre à l'analyse le précipité donné par l'eau de chaux. Ce précipité, outre les oxydes de fer, de manganèse et la magnésie, peut renfermer un peu d'alumine.

On dissout le précipité dans l'acide chlorhydrique, et l'on verse dans la liqueur un léger excès d'ammoniaque ; la quantité de sel ammoniac, qui se forme par la saturation, empêche la précipitation de la magnésie et de l'oxyde de manganèse ; l'oxyde de fer et l'alumine se précipitent seuls. On les recueille sur un filtre, afin d'en séparer la liqueur, et on les redissout en arrosant le filtre avec quelques gouttes d'acide chlorhydrique affaibli ; puis on verse dans la liqueur un excès de potasse caustique, qui précipite l'hydrate de peroxyde de fer et redissout l'alumine. Le peroxyde de fer doit être lavé à l'eau bouillante. Quant à la liqueur alcaline qui renferme l'alumine, on la sature par de

l'acide chlorhydrique, et on précipite à chaud l'alumine par du carbonate ou de l'hydrosulfate d'ammoniaque.

Pour séparer la magnésie et l'oxyde de manganèse, on verse dans la dissolution un peu d'hydrosulfate d'ammoniaque, qui précipite du sulfure de manganèse; puis, après la séparation de ce sulfure, on verse du phosphate d'ammoniaque, qui précipite la magnésie à l'état de phosphate ammoniaco-magnésien.

On peut faire l'analyse du calcaire magnésien en dosant directement la chaux. On dissout le calcaire dans l'acide chlorhydrique faible, on sépare l'argile insoluble, on sature la liqueur avec de l'ammoniaque, qui précipite le peroxyde de fer et l'alumine. Mais on ne précipite pas la magnésie, ni l'oxyde de manganèse, parce que la liqueur renferme beaucoup de sels ammoniacaux. On laisse reposer le précipité en tenant le vase bouché; on décante la liqueur, et on recueille le précipité sur un filtre. On verse dans la liqueur filtrée de l'oxalate d'ammoniaque, qui donne un précipité d'oxalate de chaux et ne précipite pas la magnésie, à cause des sels ammoniacaux qui existent dans la dissolution. L'oxyde de manganèse et la magnésie sont ensuite séparés successivement, comme dans la méthode précédente.

Chaux hydraulique artificielle. — *Procédé par simple cuisson.* — On mélange à du carbonate calcaire, réduit en bouillie, de l'argile dans la proportion qui donne à la chaux le degré d'hydraulicité dont on a besoin. Le mélange, réduit en pains et soumis à la cuisson, fournit de bons produits.

Le calcaire marneux, ordinairement friable, se reconnaît à sa composition d'argile et de carbonate de chaux, et à la facilité avec laquelle il s'écrase et peut se réduire en bouillie. Comme il contient toujours de l'argile, quelquefois assez pour produire de la chaux hydraulique ou de la chaux-ciment, pour déterminer la dose d'argile à y ajouter, il faut le soumettre à des essais chimiques ou à des essais de cuisson.

On se procure des calcaires très tendres, tels que de la craie, du tuf ou de la marne friable, faciles à broyer et susceptibles de former une pâte fine et liante avec l'eau; on se procure également une argile aussi pure que possible, ou une bonne terre à poterie. On règle la proportion dans laquelle les deux matières doivent entrer dans le mélange, que l'on opère : soit à l'aide de meules ou de roues verticales, garnies de herses ou râteaux, qui sont mues par un manège, et qui tournent dans une auge circulaire où l'on fait arriver de l'eau à l'aide d'un robinet; soit au moyen de meules horizontales, etc.

Le mélange s'effectue d'autant plus vite, et il devient d'autant plus parfait, qu'on lui donne une consistance plus voisine de celle d'une forte bouillie. On en rapproche ensuite les parties, ordinairement en le faisant passer dans des fosses peu profondes,

où, exposé à l'air, il prend une consistance qui permet de le diviser ou mouler rapidement en mottes ou en pains qu'on peut exposer à la main. Ceux-ci, exposés au soleil sur une aire ou à couvert sous des hangars, y acquièrent la consistance voulue pour la cuisson, qui s'effectue comme pour les chaux naturelles.

La chaux obtenue par le *procédé de simple cuisson* est d'un gris sale ; elle se dissout complètement dans les acides, et foisonne de 0,65 de son volume par l'extinction ordinaire, lorsqu'on en sépare les morceaux échappés à la calcination. Celle fabriquée à Meudon se compose de :

Chaux			74,61	100,00
Argile	silice	15,86	23,79	
	alumine	7,93		
Oxyde de fer			1,60	

Par ce procédé, les calcaires devant être écrasés, comme le calcaire marneux et la craie, sont seuls susceptibles d'être soumis économiquement à cette opération ; en leur absence, on aura recours au *second procédé*, qui consiste à mélanger une proportion convenable d'argile à de la chaux grasse éteinte et amenée à l'état de pâte, et à soumettre ce mélange, réduit préalablement en pains, à une seconde calcination. Dans ce cas on ne peut toucher les pains avec les mains.

D'après Vicat, les chaux ordinaires très grasses peuvent comporter 20 d'argile 0/0 de chaux ; les moyennes en ont assez de 15 à 10, et 6 suffisent pour celles qui ont déjà quelques qualités hydrauliques. Lorsqu'on force la dose d'argile censée anhydre jusqu'à 30 ou 44 0/0 de chaux vive ou caustique, le produit obtenu ne fuse pas ; mais il se pulvérise facilement et donne, lorsqu'on le détrempe, une pâte qui prend très promptement corps sous l'eau et qui a toutes les propriétés d'une chaux éminemment hydraulique. Les qualités de l'argile peuvent influer sur les proportions.

Une fois les proportions déterminées, on opère le mélange au moyen d'un manège semblable à celui employé à fabriquer des mortiers.

Procédé par double cuisson. — On obtient aussi de la bonne chaux hydraulique à l'aide de sable siliceux très fin ou de silex réduit en poudre presque impalpable, mélangé intimement à du calcaire presque pur, dans la proportion en volume de 12 à 20 de silex 0/0 de calcaire. Le degré d'hydraulicité de cette chaux peut varier selon les besoins, si l'on prend les précautions nécessaires pour que le mélange des deux matières soit intime et la cuisson bien régulière.

Pour obtenir l'intimité du mélange, on réduit le calcaire en morceaux et on le passe seul au four ; on éteint en poudre la

chaux qui en résulte, et on la mélange à la proportion convenable de sable fin ou de silex pulvérisé, d'abord avec la pelle et le râteau, puis en faisant passer le tout dans un blutoir; on termine avec les meules.

Le mélange ainsi rendu le plus homogène possible, on y ajoute une quantité d'eau nécessaire pour en former une pâte assez consistante pour être façonnée en briquettes, que l'on soumet à une seconde cuisson après les avoir fait sécher plusieurs jours.

Les chaux artificielles ainsi obtenues sont très homogènes; elles contiennent de la chaux caustique, un peu de carbonate de chaux, du silicate de chaux, et les oxydes métalliques que le calcaire peut contenir; elles répondent aux chaux naturelles fournies par des calcaires dont l'hétérogénéité oblige à une double cuisson pour obtenir le degré d'homogénéité nécessaire aux bonnes chaux hydrauliques.

La cuisson de la chaux hydraulique artificielle se pratique comme celle des pierres à chaux grasse. Seulement, il importe de ménager davantage la calcination; si l'on dépassait la température indispensable au dégagement de l'eau que contient l'argile et de l'acide carbonique du carbonate, la chaux réagirait sur la silice et le silicate d'alumine, au point de former des composés inattaquables par l'eau, sortes de vitrifications non susceptibles d'entrer par l'hydratation dans des combinaisons nouvelles.

Pour réduire la chaux en poudre, on la place dans une auge circulaire en maçonnerie, où l'on fait manœuvrer deux vieilles roues de charrette, reliées par un arbre. Une des roues porte à l'arrière un soc de charrue, pour relever la chaux qui doit être écrasée par la roue suivante. Un manège à un cheval, dont l'arbre vertical est au centre de l'auge, suffit à la manœuvre de l'appareil.

Un tonneau dans lequel se meuvent deux râteaux verticaux, formés de lattes, est aussi employé.

L'appareil Andure, perfectionnement de l'appareil Carr, réduit en pâte liquide les calcaires friables. C'est une turbine avec deux plateaux munis de dents, qui engrènent les unes dans les autres.

Cuisson de la pierre à chaux. — Pour obtenir la chaux, on calcine le carbonate calcaire dans des fours à feu continu ou dans des fours à feu discontinu, en employant, comme combustible: le bois de corde, les fagots, la bruyère, les houilles sèches, l'anthracite, les lignites et la tourbe, rarement le charbon de bois; le coke convient parfaitement.

La forme des fours varie avec le combustible. Pour le bois et la bruyère, qui brûlent avec une longue flamme, on construit, en briques ou matériaux réfractaires de vastes chambres, prisma-

tiques ou cylindriques, beaucoup plus hautes que larges, avec une ouverture par le bas ; on les remplit avec de la pierre réduite au volume de petits moellons, de sorte que la charge soit supportée par une ou deux petites voûtes construites à sec. L'entrée de ces voûtes correspond à celle de l'ouverture ménagée dans le bas du four : c'est le foyer où se brûle le combustible, dont la flamme, s'insinuant par les vides des petites voûtes, porte de proche en proche l'incandescence dans toutes les parties.

Le temps qu'exige la cuisson varie, selon l'état hygrométrique du calcaire et la qualité du bois, de 100 à 150 heures pour un four de 75 à 80 mètres cubes. C'est par le tassement de la charge, descendue de 1/6 à 1/5 de sa hauteur primitive, que les chaufourniers jugent la cuisson terminée ; chaque mètre cube de chaux exige en moyenne 1,66 stère de bois de corde, essence de chêne, 22 stères de fagots ordinaires, ou 30 stères de paquets de genêts ou bruyère. Les fagots et bois refendus sont préférables au bois de corde. Il est désavantageux d'employer du bois vert.

On reconnaît la fin de la cuisson quand la flamme sort par le haut du four presque sans fumée. Pendant l'opération, elle change plusieurs fois de couleur : elle est d'abord brune, puis rouge foncé, violette, bleue et enfin blanche. A la fin de la cuisson, les pierres à chaux sont rose blanchâtre.

La *calcination à feu continu* est la méthode préférable, parce que, le four étant toujours en feu, on économise le combustible que l'on consommerait à chaque fournée pour élever la température de la masse d'un *four à feu discontinu*. Cette méthode permet d'employer les combustibles sans flamme, tels que le coke, la houille sèche et l'anthracite. Le calcaire, réduit d'abord par le cassage en morceaux de la grosseur du poing, se cuit au contact même du combustible.

Les fours sont des plus simples : ils ont une forme ovoïde, ou celle d'un tronc de cône renversé (*fig.* 30). La base inférieure a au moins 1 mètre de diamètre, et quelquefois jusqu'à $3^m,90$; le diamètre de la base supérieure varie de 2 à 6 mètres, et la hauteur du four de 3 mètres à $10^m,80$.

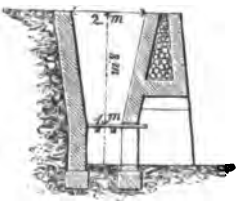


Fig. 30.

La partie supérieure de ces fours contenant du calcaire, tandis que celle inférieure renferme de la chaux cuite, il en résulte que, dans l'étendue de la hauteur du four, on trouve tous les états intermédiaires entre la pierre calcaire crue et la chaux.

Le chargement de ces fours se fait par assises alternatives de pierre et de charbon, et par le haut, au fur et à mesure que la chaux est retirée par le bas. Pour commencer un chargement,

on dispose d'abord, dans le bas du four, une voûte en pierre calcaire, que l'on fait reposer sur des barres de fer qui portent une espèce de grille, et dans le foyer, qui est réservé sous cette voûte, on fait un feu de bois qui allume une première couche de houille de $0^m,05$ à $0^m,07$ d'épaisseur, que l'on couvre d'une couche de calcaire de $0^m,16$ à $0^m,22$ d'épaisseur, sur laquelle on jette, à la pelle et de manière à remplir les interstices des pierres, une seconde couche de houille semblable à la première; on place alors une seconde couche de calcaire, et l'on continue ainsi jusqu'à la partie supérieure du four, en ne plaçant de nouvelles couches qu'à mesure que le feu s'élève.

Lorsque la pierre du bas du four est cuite, on la fait couler avec un ringard, et on la retire, en réglant la vitesse d'enlèvement sur le temps nécessaire pour la calcination de la pierre (24 à 36 heures). A mesure que la masse s'affaisse, on place de nouvelles couches de calcaire et de houille pour remplir le four, que l'on vide à peu près par tiers de sa hauteur.

Pour faciliter la calcination et la rendre égale, on casse le calcaire en morceaux de 5 à 7 centimètres de côté; les pains de chaux artificielle peuvent avoir de plus grandes dimensions. La quantité de houille brûlée varie de 1,50 à 2,25 hectolitres par mètre cube de calcaire; quand la pierre contient des matières bitumineuses, on ne brûle parfois qu'un hectolitre de houille par mètre cube de chaux calcinée.

Il faut 600 à 800 kilogr. de bois pour cuire 1 mètre cube de calcaire.

La cuisson au moyen de la tourbe exige $1^m,5$ de tourbe pour 1 mètre cube de pierre calcaire. Ce combustible donne trop de cendres, qui fondent avec une partie de la chaux et causent un déchet considérable. Il en est de même des lignites.

La qualité de la chaux paraît être meilleure quand la pierre employée est plus dense.

Avec les fours Hoffmann on ne consomme que 80 kilogr. de houille par mètre cube de chaux vive.

Indices d'une bonne cuisson. — La chaux vive, pour être cuite au degré convenable, doit fuser promptement et complètement dans l'eau. Si elle est trop calcinée, elle reste quelquefois un jour ou deux dans l'eau sans avoir subi une extinction complète. La chaux bien cuite est très légère et d'apparence jaunâtre. Si elle est lourde, elle fuse mal et a des arêtes vitrifiées. Si elle est lourde, sans avoir des arêtes vitrifiées, c'est qu'elle n'est pas assez cuite. Pour être de bonne qualité, les chaux ne doivent contenir aucune matière étrangère ni aucun biscuit ou durillon.

Les bonnes chaux hydrauliques bien cuites se reconnaissent d'après les indices signalés précédemment pour la chaux hydraulique fournie par les échantillons d'essai (p. 89).

Les pierres à chaux perdent dans leur calcination parfaite environ 0,45 de leur poids primitif, par l'effet de l'évaporation de toute l'eau et de l'acide carbonique qu'elles contiennent. La diminution est moins grande en volume qu'en poids: quoique très variable, on l'évalue à 0,1 ou à 0,2 du volume primitif.

Comparaison des procédés de cuisson de la chaux. — *Chauffage au gaz.* — Les fours à chaux sont cylindriques, coniques avec évasement du cône dirigé tantôt vers le haut, tantôt vers le bas, ovoïdes, etc. Leur hauteur varie de 3 à 20 mètres.

La consommation de combustible varie de 110 à 130 kilogr. par tonne de pierre

Depuis quelques années on a essayé de substituer, au chauffage direct par le charbon ou le coke mélangé au calcaire, le chauffage produit par *le gaz* des gazogènes placés à côté des fours. Certains de ces fours, Fichet et Heurtey, ont procuré, en 1895, une économie de 40 0/0 [1]. Le gazogène est alimenté au coke. Avec la pierre dure on peut obtenir une cuisson parfaite en ne dépensant que 60 kilogr. de charbon par tonne de pierre et que 70 kilogr. pour la cuisson de la tonne de pierre tendre.

Avec de petits fours à feu continu de $1^m,50$ de diamètre en gueule et $4^m,50$ à 5 mètres de hauteur, fournissant 25 mètres cubes de chaux par jour, on peut obtenir 1 mètre cube de chaux, avec une dépense de 14 fr. 50 environ (compris frais de construction du four, etc.).

Provenances des chaux. — La chaux se vend de 17 à 19 francs le mètre cube; la chaux hydraulique, 21 à 23 francs le mètre cube. Les plus réputées parmi les chaux hydrauliques sont celles du Theil (Ardèche) (marque Pavin de Lafarge), de Montélimart (Drôme), de Doué (Maine-et-Loire), de Paviers (Indre-et-Loire), de la Hève, de Saint-Quentin, de Sassenage (Isère), d'Angoumé (Basses-Pyrénées), de Castelnaudary (Aude), d'Echoisy (Charente), des Morins (Gironde), de la Mancelière (Eure-et-Loir), de Rochefort (Var), de Tournay, d'Antoing (Belgique), de Senonches (Eure-et-Loir), Xeuilley (Meurthe-et-Moselle), Laigle (Orne), Montreuil-sous-Bois, Etampes, Ville-sous-la-Ferté, Seilley (Aube), Try (Marne), Bougival, Argenteuil, Mortcerf (Seine-et-Marne), Mussy (Aube), Châteauroux, Bondy, Romainville, Beiffes et Marseilles-lès-Aubigny (Cher), Cassel, Metz.

On emploie à Paris des chaux de Champigny, Sèvres, Meudon, Marly, Essonnes, Melun, Senlis, Antony et Rambouillet. On fabrique la chaux hydraulique artificielle à Vaugirard, les Moulineaux, les Buttes-Chaumont, Issy, Bougival.

Mesurage et transport de la chaux. — La chaux hydraulique revient à 4 fr. 30 les 100 kilogr.; la chaux éminemment hydrau-

[1] Voir la description, dans *le Génie civil* du 20 février 1897.

lique, déduction faite de la taxe, à 5 francs les 100 kilogr. Le poids de la chaux varie de 600 à 750 kilogr. le mètre cube. Les chaux vives, soit grasses, soit hydrauliques, se livrent au poids dans des tonneaux ou dans des sacs, ou au mètre cube dans des voitures fermées, que l'on recouvre de paillassons ou de toiles, afin de préserver la chaux du contact de l'air et de la pluie.

Le tassement des chaux hydrauliques, transportées en voiture sur un chemin pavé de 4 à 5 kilomètres, est évalué au 1/8 du volume de la chaux au point de départ. Il est important de mentionner si la chaux est mesurée au four ou amenée à pied-d'œuvre, quand on évalue son foisonnement.

Conservation de la chaux. — On conserve la chaux sous des hangars, ou mieux dans des caisses ou tonneaux hermétiquement fermés; avec cette dernière précaution on peut conserver la chaux une année.

Pour conserver la chaux hydraulique, il faut étendre sur le sol d'un hangar, ce sol étant maintenu à l'abri de l'humidité, une couche de chaux de $0^m,15$ à $0^m,20$ d'épaisseur, réduite en poudre par immersion; sur cette couche on empile la chaux vive, en la serrant avec une masse de bois, pour diminuer les vides. On termine le monceau avec des talus assez doux, qu'on recouvre d'un dernier lit de chaux, prise au moment où elle vient de subir l'immersion; celle-ci, en tombant en poussière, se loge dans les intervalles de la chaux vive en pierres, et l'enveloppe assez pour la défendre du contact de l'air et de toute humidité. On lisse avec le dos d'une pelle la superficie de cette espèce de manteau, qui doit avoir une quinzaine de centimètres d'épaisseur. Un tas de 60 mètres cubes de chaux vive a justifié de l'efficacité de ce procédé; la chaux retirée du tas s'échauffait et fusait très bien après 5 mois d'un hiver pluvieux.

Les chaux éteintes en poudre se conservent plus facilement que les chaux vives. Il suffit de tasser la poudre accumulée et de la couvrir de vieilles toiles ou de paillassons. Si l'emploi ne devait avoir lieu que plus tard, il serait préférable de la mettre dans des futailles ou dans de vastes encaissements en planches bien jointes.

Ce n'est qu'éteintes en poudre sèche que les chaux grasses ou hydrauliques peuvent se transporter au loin, en les expédiant en futailles ou dans des sacs; elles peuvent même traverser les mers.

Dans les fabriques bien organisées (Doué, le Theil, Paviers, etc.) les chaux éteintes, après leur réduction en poudre, passent par des blutoirs qui en séparent les parties solides provenant d'un défaut de cuisson ou de la composition hétérogène de certains noyaux dont les masses calcaires sont souvent pénétrées. Les poudres tombent de ces blutoirs dans de vastes chambres bien

closes, et de là, par des trémies, dans des futailles ou dans des sacs, à mesure qu'on les expédie.

On conserve bien les chaux grasses en se basant sur leur faculté, lorsqu'elles sont éteintes à grande eau, de rester indéfiniment molles dans des fosses imperméables, en ayant soin de les recouvrir de terre ou de sable frais.

Extinction de la chaux. — 1° *Extinction par fusion ou extinction ordinaire.* — Elle se fait en plaçant la chaux dans des bassins, avec une quantité d'eau convenable pour la réduire en bouillie épaisse. Ces bassins sont construits en maçonnerie sur les chantiers importants ; on les fait aussi avec des plats-bords réunis entre eux au moyen de chevillettes ou maintenus par des piquets en bois, en ayant soin de les garnir de glaise ou de plâtre pour empêcher le passage de l'eau. Pour les chaux grasses il faut mettre d'une seule fois dans le bassin le volume d'eau convenable, afin de n'être pas obligé d'en ajouter de nouvelle pendant l'effervescence; si la quantité d'eau est insuffisante, il faut attendre le refroidissement pour ajouter celle qui fait défaut.

On emploie ce procédé pour la chaux grasse, parce qu'elle foisonne plus que par les autres procédés; mais il convient, pour qu'elle donne une bonne maçonnerie, d'y mélanger un peu de pouzzolane.

La méthode qui consiste à noyer la chaux dans une grande quantité d'eau, de manière à l'amener à une consistance laiteuse et à la verser ensuite dans des fosses imperméables où elle perd l'eau qui est en excès, doit être proscrite.

Lorsqu'on veut conserver la chaux grasse après son extinction, on la recouvre de paillassons ou de sable, que l'on humecte de temps en temps.

Extinction par fusion appropriée à la chaux hydraulique. — La chaux hydraulique, dit Vicat, prise vive et en pierres, se jette à la pelle dans un bassin imperméable, où on l'étend par couches d'égale épaisseur (de 20 à 25 centimètres); on amène l'eau au fur et à mesure, et de manière qu'elle puisse circuler et pénétrer dans les vides des morceaux de chaux vive. L'effervescence ne tarde guère à se manifester ; on continue à jeter de la chaux et de l'eau ; il faut se garder de brasser la matière et de la réduire en laitance ; quand quelques parties de chaux fusent à sec, on y dirige l'eau par des rigoles que l'on trace dans la pâte avec une pelle, et on enfonce un bâton dans les endroits où l'on soupçonne que l'eau a pu manquer : si le bâton en sort enduit d'une couche gluante, l'extinction est bonne, s'il s'en élève une fumée farineuse, la chaux fuse à sec ; on élargit le trou, on en fait d'autres à côté, et l'on y amène l'eau.

La chaux éteinte est très ferme le lendemain; il faut la couper avec une pelle.

Si, au lieu d'être prise vive, la chaux hydraulique a déjà subi l'immersion, les bassins deviennent inutiles; la réduction en pâte se fait au fur et à mesure que la consommation l'exige.

2° *Extinction sèche par immersion ou aspersion.* — Cette méthode consiste à plonger, à l'aide d'un panier d'osier, la chaux fragmentée dans l'eau pendant quelques secondes et à l'en retirer subitement, avant tout commencement de fusion pâteuse; elle siffle, éclate avec bruit, répand des vapeurs brûlantes et tombe en poussière. On arrive au même résultat par une aspersion d'eau, faite au moyen d'un arrosoir, sur la chaux vive, étalée sur une aire en une couche de $0^m,10$ à $0^m,15$ d'épaisseur. Il est bon d'entasser immédiatement la chaux pour concentrer la chaleur dégagée; par là on facilite et on accélère la réduction en poudre. Ainsi réduite, la chaux ne s'échauffe plus avec l'eau; elle en retient de 18 à 20 0/0 si elle est grasse, et de 20 à 30 si elle est hydraulique.

La forme pulvérulente qui résulte de ce procédé permet de transporter la chaux au loin dans des sacs ou des barils.

3° *Extinction par aspersion.* — Elle consiste à placer la chaux vive dans un bassin circulaire formé avec du sable, à jeter dessus l'eau suffisante pour la réduire en pâte, à la couvrir immédiatement avec le sable, et à ne l'agiter et faire le mortier que quand la fusion est complète. Pour la chaux grasse, il se produit un dégagement de chaleur qui facilite l'extinction, laquelle est complète au bout de 2 ou 3 heures.

4° *Extinction spontanée.* — Elle se fait en soumettant la chaux vive à l'action lente et continue de l'atmosphère, dont elle absorbe l'humidité en se transformant en hydrate de chaux. Cet hydrate contient 0,22 de son poids d'eau, et, en y ajoutant une certaine quantité d'eau, on obtient une pâte propre à fabriquer du mortier. Ce mode est rarement employé pour les chaux hydrauliques, lesquelles perdent de leurs qualités à l'air; mais il convient pour les chaux grasses, dont l'exposition à l'air transforme quelques particules en carbonate de chaux, ce qui facilite le durcissement. On doit préserver les chaux du contact de l'air et de l'humidité, lorsqu'elles ont été éteintes par ce procédé.

Remarque. — L'extinction sèche par immersion ou aspersion doit être préférée pour les chaux grasses, vu qu'il en résulte une augmentation de près des deux tiers pour la force des mortiers; mais la valeur de ces derniers augmente en raison de la plus grande quantité de chaux vive qui y est introduite, quoique sous un égal volume de pâte. Les chaux hydrauliques gagnent à être éteintes par le procédé ordinaire à grande eau; il en résulte, pour l'accroissement de cohésion des mortiers, une différence peu appréciable dans le cas d'exposition à l'air, mais très sensible et de 1/5 pour le cas d'immersion constante.

Foisonnement de la chaux. — 100 kilogr. de chaux grasse très pure et très vive donnent $0^{mc},24$ de pâte ; quand la cuisson date de plusieurs jours et que la chaux n'est pas très pure, ce chiffre descend à $0^{mc},18$.

Les chaux communes très grasses, éteintes en bouillie épaisse par fusion, donnent en volume jusqu'à 2, et quelquefois plus, pour 1 ; il en est qui ne donnent que 1,30 et même 1,20 : ce sont principalement les chaux maigres et communes.

Le tableau suivant donne les résultats fournis par différentes chaux hydrauliques, par mètre cube de chaux vive mesurée à pied-d'œuvre.

DÉSIGNATION DE LA CHAUX	MODE D'EXTINCTION	VOLUME APRÈS LA FUSION
		M. cub.
Chaux hydraulique de Bourgogne.....	Fusion.	1,55 de pâte.
— —	Immersion.	1,85 de poudre.
Chaux hydraulique naturelle des Buttes Chaumont.....	Fusion.	1,50 de pâte.
Chaux hydraulique naturelle des Buttes Chaumont.....	Immersion.	1,78 de poudre.
Chaux hydraulique artificielle des Buttes Chaumont.....	Fusion.	1,59 de pâte.
Chaux hydraulique artificielle des Buttes Chaumont..... ...	Immersion.	1,75 de poudre.
Chaux hydraulique d'Issy.....	Fusion.	1,62 de pâte.
Chaux hydraul. naturelle des Moulineaux.	—	1,47 —
Chaux moyennement hydraul. de la Hève.	—	1,75 —
— — —	Immersion.	2,00 de poudre.
Chaux du Theil.....	—	1,24 —

Pour la chaux éteinte en poudre, il s'opère une contraction par le gâchage, qui peut varier de $0^{mc},62$ à $0^{mc},80$ de pâte pour 1 mètre cube de poudre.

Degré d'hydraulicité des chaux. — Il consiste à mettre la chaux à essayer dans un verre, immédiatement après son extinction, en la recouvrant d'une quantité d'eau égale au tiers de la profondeur du verre. Si elle est bonne, elle doit avoir fait prise, au plus tard, 8 ou 10 jours après son immersion, de manière à supporter, sans dépression, une aiguille à tricot (aiguille Vicat), d'un peu plus de 1 millimètre ($0^{m},0012$) de diamètre, limée carrément à une extrémité et chargée à l'autre d'un culot de plomb du poids de 0,3 de kilogramme. Les chaux hydrauliques indiquées au tableau précédent ont toutes satisfait à cette condition, après des durées d'immersion de 7 à 14 jours. Lorsqu'une chaux résiste à l'épreuve de l'aiguille, elle résiste au doigt poussé avec la force ordinaire du bras, et elle ne peut plus changer de forme sans se briser.

Le tableau suivant de Vicat donne les indices d'hydraulicité et la composition chimique de plusieurs chaux.

L'*indice d'hydraulicité d'une chaux* est le rapport de la quantité d'argile à la quantité de chaux caustique qui entrent dans la chaux considérée.

DÉSIGNATION DES CHAUX	CHAUX	MAGNÉSIE	SILICE	ALUMINE	PEROXYDE DE FER	PRINCIPES INERTES	INDICES D'HYDRAULICITÉ	QUOTITÉ SILICE P. 1 D'ALUMINE
Chaux naturelles								
Chaux du Theil, 1er choix.	68,941	0,612	26,069	4,378	traces	»	0,45	5,25
— du Theil, 2e qualité.	77,760	0,541	20,573	1,126	—	»	0,28	12,34
— de Sassenage (Isère).	71,989	0.507	23,609	3,893	—	»	0,39	5,36
— de Paviers (Indre-et-Loire)	70,850	0,476	18,261	4,997	—	0,476	0,33	3,34
— de Doué (Maine-et-Loire).....	75,894	0,502	11,174	3,828	2,134	5,649	0,20	2,58
— de Blancafort (Cher).	66,410	0,31	23,84	9,44	traces	»	0,50	2,44
— d'Etmondeville (Manche).....	78,400	3,93	11,00	3,67	3,00	»	0,24	1,45
de Grenoble (Isère).	84,220	»	7,23	4,56	0,95	3,04	0,14	1,58
Chaux artificielles à argiles ordinaires								
De simple cuisson.....	71,840	»	19,21	8,95	traces	»	0,39	2,14
— —	69,130	»	20,85	10,02	—	»	0,44	2,08
Chaux éminemment siliceuses								
De simple cuisson.....	69,440	»	30,56	»	—	»	0,44	»
De double cuisson.....	69,440	»	30,56	»	—	»	0,44	»
— —	69,920	»	25,06	5,00	—	»	0,43	5,01
De simple cuisson.....	69,920	»	25,06	5,00	—	»	0.43	5,01
Chaux grasse rendue hydraulique par adjonction de ciment.....	69,500	»	16,65	6,90	3,31	3,64	0,34	3,40

Pouzzolanes. — Arènes. — Les pouzzolanes sont des produits naturels ou artificiels qui peuvent se combiner immédiatement avec la chaux, et donner à cette dernière les qualités hydrauliques.

Les pouzzolanes (de Pouzzoles, près Naples) sont des laves ou déjections volcaniques composées de silice, d'alumine et de peroxyde de fer, auxquels s'unissent accidentellement la magnésie, la chaux, la potasse, la soude, etc. Les pouzzolanes se trouvent toujours sur les flancs ou dans les volcans allumés ou éteints. On les trouve à l'état d'une poussière mélangée de parties plus grossières et poreuses, assez semblables à la pierre ponce. Les anciens volcans de l'Auvergne, du Vivarais et de l'Hérault en fournissent.

La composition des pouzzolanes est de 60 à 90 d'argile pour 40 à 10 de chaux. A l'état naturel ou après une calcination préalable, les pouzzolanes renferment du silicate de chaux, sans qu'il y ait

assez de chaux libre pour que, réduit en poudre, il fasse pâte lorsqu'on le jette dans l'eau : cette poudre est tellement maigre que sa fusion dans l'eau s'opère difficilement.

On emploie des pouzzolanes qui ont la propriété de prendre consistance sous l'eau en 24 heures, sans être mélangées à aucune matière; ordinairement on n'en fait usage que mélangées aux chaux grasses, dans des proportions qui communiquent à celles-ci un degré d'hydraulicité qui leur permet de durcir promptement. Le silicate étant mis ainsi, par rapport à la chaux, dans les mêmes conditions que dans les chaux plus ou moins hydrauliques, ou que, dans les chaux-ciments, le mélange possède les propriétés de ces produits.

Il est rare que les silicates doubles d'alumine et de chaux soient employés seuls. On y introduit du sable et des cailloux, comme gangues d'agrégats. Dans les travaux en eau douce, 18 kilogr. de chaux grasse sont une bonne proportion pour 100 kilogr. de pouzzolane composée de 64 parties de silice et de 26 d'alumine. On modifie la quantité de chaux additive, quand on tombe sur une pouzzolane mêlée de matières inertes. On peut descendre à 15 et même 12 parties de chaux caustique pour 100 de pouzzolane, selon son degré de pauvreté en principes actifs.

La pouzzolane peut être blanche, noire, jaune, grise, brune ou violette; celle de Rome est d'un rouge brun, mêlé de particules d'un brillant métallique. Les meilleures pouzzolanes viennent d'Italie (Civita-Vecchia, Livourne) et de Rachgoun (Algérie). On trouve des pouzzolanes naturelles dans le revers sud des montagnes de l'Auvergne, entre Chaudesaigues et la Guiolle, dans le Vivarais et à Bessan (Hérault), à Santorin, en Grèce (gris cendre), à Andernach (strass du Rhin), etc.

On trouve des sables jouissant de quelques propriétés pouzzolaniques, lorsqu'ils ont été soumis à une légère torréfaction. Ces sables sont abondants aux environs de Brest et en basse Bretagne. Dans les environs de Saint-Astier (Dordogne) on trouve un sable quartzeux, à grains inégaux entremêlés d'argile, brune ou jaune, en proportion variable de 1/4 aux 3/4 du volume total, dont les qualités pouzzolaniques sont très prononcées, indépendamment de toute cuisson. Ces sables sont des *arènes*.

M. Avril a trouvé, en 1854, aux environs de Châteaulin et de Saint-Servan et en Basse Bretagne des roches amphiboliques ou diorites décomposées, jouissant naturellement de certaines propriétés pouzzolaniques ; une cuisson modérée augmente leur énergie.

Pouzzolane artificielle. — Un composé de 1 à 3 parties de chaux pour 9 à 7 d'argile, soumis à une chaleur nécessaire au premier degré de cuisson de la brique, un peu supérieure au rouge sombre, donne de la pouzzolane.

Pour le pont-aqueduc de Guétin, sur l'Allier, et pour celui de

Tableau de la composition chimique de quelques pouzzolanes (*d'après Vicat*)

DÉSIGNATION DES POUZZOLANES	CHAUX	CARBONATE de CHAUX	MAGNÉSIE	CARBONATE de MAGNÉSIE	MATIÈRES INERTES	SILICE	ALUMINE	PEROXYDE DE FER	PRINCIPES SOLUBLES et VOLATILS	RICHESSE en PRINCIPES ACTIFS sur 100 parties
Pouzzolanes volcaniques										
Pouzzolane des fouilles de Saint-Paul, à Rome.....	8,80	»	4,70	»	»	45,00	14,80	12,00	14,70	73,30
— de Naples, brune.....	8,96	»	»	»	20,00	24,50	15,75	16,30	7,63	49,21
— de Naples, grise.....	9,47	»	4,40	»	2,50	42,00	15,50	12,50	13,64	71,37
— de Naples, grise dite de feu.....	»	19,67	»	6,831	7,303	33,674	14,732	9,465	8,913	48,40
— trass du Rhin.....	2,33	»	1,00	»	8,570	46,250	20,715	5,585	15,550	70,29
— brune de Bessan (Hérault).....	8,70	»	»	»	4,50	38,50	18,35	14,90	15,05	65,55
Pouzzolanes artificielles										
Pouzzolane d'arène rouge sableuse d'Alger.....	»	»	2,65	»	21,00	45,50	19,33	8,92	1,75	67,48
— d'argile fine ocreuse..	»	»	»	»	»	65,50	22,35	10,40	1,75	87,85
— d'argile réfractaire de Paviers (Indre-et-Loire).....	»	»	2,30	»	14,10	49,04	32,56	»	»	83,90
— d'argile blanche.....	1,00	»	»	»	»	66,50	32,50	»	»	100,00
— d'argile de la Rance, à Saint-Malo.....	13,00	8,07	»	»	30,00	30,50	13,50	4,00	0,93	57,00

Digoin, sur la Loire, les matières employées étaient composées de 1 partie en volume de chaux grasse cuite et éteinte à l'état de pâte molle, et de 4 parties d'argile, ou plutôt d'une terre argileuse, amenée par une addition d'eau à la même consistance que la chaux. Les matières, maintenues à la consistance de pâte à briques ordinaires, se mélangeaient à l'aide d'un manège à deux roues. On mettait le produit du mélange en pains prismatiques, au moyen d'un moule. On faisait dessécher les pains au soleil. L'été, la dessiccation durait 7 à 8 jours. On cuit les pains avec de la houille ou du bois. Avec un petit feu bien conduit, la cuisson d'une fournée dure de 30 à 40 heures. La cuisson terminée, on pulvérise la pouzzolane. La pouzzolane fabriquée se conserve plus facilement que la chaux hydraulique ; elle permet de donner au mortier le degré d'énergie dont on a besoin, avantage que ne possède pas la chaux.

Parmi les fabriques de pouzzolane, citons celles de Paviers (Indre-et-Loire), de Fagnières (Marne), de Chartres. Les fabriques de chaux des environs de Paris fournissent des pouzzolanes que l'on emploie pour activer la prise des mortiers ; elles ont la couleur des briques ou des tuileaux écrasés.

Le prix de 1 mètre cube de pouzzolane artificielle s'élève à environ 28 francs.

On fait aussi de la pouzzolane en calcinant des schistes, porphyres, pyroxènes, grès, arènes, vases, granits, etc., divisés en fragments de $0^m,06$ ou $0^m,07$.

On a fabriqué de la pouzzolane avec une terre dolomitique (la *dolomie* est un carbonate de chaux et de magnésie). Cette terre, exploitée par entailles et coins de bois, se subdivisait en petites mottes que l'on séchait au soleil ou sous des hangars pour les cuire ensuite dans un four à chaux ordinaire. La cuisson exigeait 1 hectolitre de charbon pour 16 à 18 hectolitres de terre. Le mètre cube revient à moins de 10 francs.

A Calais, on fabrique de la pouzzolane en cuisant de la terre argilo-calcaire provenant des plages.

A Brest, on a soumis les sables de gneiss granitiques à une légère torréfaction dans les fours à réverbère, et l'on a obtenu une pouzzolane qui, mélangée à la chaux, donne un mortier qui durcit en 7 jours. Ces sables torréfiés se composent de :

Silice	60,33
Alumine	21,43
Peroxyde de fer	8,57
Chaux et magnésie	6,69
Principes solubles	2,75

Ciment de vieilles briques ou tuiles (*cendres de houille et scories de forges*). — On obtient un ciment qui n'est qu'une pouzzolane artificielle, en pilant et tamisant l'argile bien cuite provenant de

débris de briques, de tuiles, de poteries, etc. Ce ciment contenant moins de 1/10 de chaux est en dehors de la pouzzolane; mais celle qu'il peut contenir est combinée avec la silice, et, quand l'argile n'a pas été trop cuite, la chaux grasse mélangée avec cette matière écrasée donne un mortier d'un certain degré d'hydraulicité. Cependant, comme la pulvérisation de la brique ou de la tuile est coûteuse, il est préférable d'employer la pouzzolane énergique, dont une petite quantité mélangée à la chaux grasse donne de très bons mortiers hydrauliques. D'après Vicat, de l'argile, après une première cuite, donnant à la combinaison avec la chaux une énergie représentée par 1, biscuite, cette énergie est représentée par 0,30, et demi-vitrifiée par 0,19 ; la brique la plus cuite n'est donc pas la meilleure pour les mortiers.

Ciment romain. — On désigne sous ce nom des produits provenant de la cuisson complète de calcaires marneux et argileux renfermant les principes qui les rendent susceptibles d'un durcissement rapide dans l'air. Ces calcaires renferment plus de 23 parties d'argile 0/0 ; cette quantité peut aller jusqu'à 40 ; quand elle dépasse 30 0/0, les ciments sont médiocres.

En 1756, Smeaton observa que la chaux provenant de la cuisson de calcaires contenant de l'argile jouissait de la propriété de durcir sous l'eau. Quarante ans après, M. Lesage fixait l'attention sur les propriétés hydrauliques du calcaire compact qui compose les galets de Boulogne-sur-Mer, duquel il avait obtenu une substance désignée sous le nom de *plâtre-ciment*. Parker et Wyats prenaient à Londres un brevet pour l'exploitation d'un calcaire argileux produisant une matière analogue à la chaux hydraulique, mais à prise plus énergique, à laquelle ils donnèrent le nom de *romancement*, nom impropre, conservé sous celui de *ciment romain*, pour les produits analogues (ciment de Pouilly, découvert par Lacordaire; ciment de Vassy, découvert en 1831 par H. Gariel ; etc.).

Les ciments romains sont employés avec avantage dans les constructions hydrauliques. Ils possèdent à un degré supérieur les propriétés des meilleures chaux hydrauliques, en acquérant presque instantanément, à l'air et dans l'eau, une plus grande dureté et une plus grande imperméabilité, et en adhérant davantage aux matériaux.

Les calcaires à ciments se cuisent comme les pierres à chaux ; cependant ils exigent plus de modération dans le feu.

Les ciments ne s'éteignent pas avec l'eau, avec laquelle ils ne font pas effervescence; il faut les traiter comme le plâtre pour les employer. A l'inverse de la chaux, ils diminuent de volume par leur mélange avec l'eau. Leur couleur est brun foncé, brun clair, gris, nankin, jaune badigeon, etc. Il y a des calcaires contenant de la silice gélatineuse dans les proportions qui semblent

convenir aux ciments, auxquels aucun degré de cuisson ne peut communiquer la propriété d'une prise prompte et énergique.

On rencontre des calcaires dont l'argile contient, outre la silice et l'alumine, 6 à 12 0/0 de magnésie, dont la présence paraît exalter la qualité du ciment pour les travaux à la mer.

Quand un calcaire argileux n'est cuit qu'incomplètement, de manière à ne lui enlever qu'une partie de son acide carbonique, si on le pulvérise et qu'on le gâche à la manière des ciments, la prise peut avoir lieu en quelques minutes, elle peut persister et faire des progrès, ou se terminer par une désagrégation complète. Un calcaire argileux, cuit et éteint en pâte, ayant fait prise après 6 jours, le même calcaire, selon qu'il contenait 20 ou 30 0/0 d'acide carbonique, employé comme ciment, a fait prise après un mois ou après 15 minutes.

Ciments romains artificiels à prise lente. — Ciments de Portland. — On fabrique des ciments artificiels en soumettant à un degré de cuisson convenable des mélanges de craie et d'argile ou de marnes plus ou moins chargées d'argile ou de carbonate de chaux. Comme avec les ciments naturels, on peut obtenir ainsi, par un excès de cuisson, des produits à prise très lente, mais qui acquièrent rapidement une dureté supérieure à celle des ciments correspondants à prise rapide. Si la chaux et l'argile employées ne contiennent pas d'oxyde de fer, le ciment obtenu est blanc.

Le ciment de *Portland anglais* est le type des ciments romains artificiels à prise lente. Il se fabrique au moyen d'un mélange de craie et de vases argileuses des bords de la Tamise et du Medway. Ces matières sont triturées sous des meules horizontales avec une grande quantité d'eau; les parties très fines, celles qui sont assez légères pour rester en suspension, sont enlevées par décantation. Lorsque le mélange boueux déposé dans les bassins est ressuyé, il est mis en pains et soumis à une cuisson élevée pour que la matière commence à se vitrifier; dans cet état, le ciment est trié, pulvérisé et mis en sacs ou en fûts.

Le ciment de Portland anglais, dont le poids du mètre cube est de 1.270 kilogr., se contracte de 25 0/0 par le gâchage, et sa prise s'opère après 5 et même 10 heures.

Le ciment de *Portland français*, de Dupont, Demarle et Cie, à Boulogne-sur-Mer, se fabrique au moyen d'un calcaire marneux des environs de Château-Neuf, près Boulogne. Ce calcaire se rencontre dans le terrain crétacé inférieur, à l'état de marnes friables d'une couleur crémeuse; sa pâte est à peu près homogène, et il contient de 19 à 25 0/0 d'argile. On rejette tout calcaire qui contient plus de 1/20 de son poids en sable.

La fabrication du ciment de Portland de Boulogne consiste à écraser et à malaxer les marnes siliceuses à l'aide d'un manège à roues, puis à les jeter dans un bassin contenant de l'eau, où, à

l'aide d'un puissant agitateur, elles sont divisées, mélangées et amenées à l'état d'une bouillie suffisamment liquide pour qu'on puisse la faire écouler par des caniveaux dans plusieurs grands bassins de décantation.

La composition chimique des marnes étant susceptible de variations, afin d'assurer une parfaite homogénéité dans la composition du ciment, dès qu'un des bassins de dépôt est plein, son contenu est analysé, et si l'élément siliceux est en excès, on remplace une partie de ce contenu par une égale quantité prise dans un autre bassin où la silice fait défaut. Après quelques jours de dépôt, le mélange, moins liquide, est conduit au moyen de *coulots*, soit dans de larges fosses où on le laisse égoutter et sécher à l'air, soit sur des fours à coke dont le dessus forme séchoir. On lui laisse prendre une consistance suffisante pour qu'on puisse en former des pains, que l'on soumet à la cuisson.

La cuisson du Portland de Boulogne se fait à une température plus forte que celle des fours à chaux ordinaires; il faut une chaleur blanche qui agglutine et fritte la matière, de manière à faire fuser les parties qui pourraient nuire au ciment; cette fusion donne la facilité de séparer les matières qui n'ont pas la composition convenable. Il est nécessaire, après la cuisson, d'extraire de la masse qui est frittée les parties pulvérulentes, ainsi que celles scorifiées, avant de soumettre le composé cuit à la pulvérisation définitive.

Le poids du mètre cube de ciment Portland de Boulogne-sur-Mer, bluté et non tassé, est de 1.270 à 1.350 kilogr. Par le gâchage avec $0^{m},38$ d'eau, sa contraction est de 0,30 environ, c'est-à-dire que le mètre cube de poudre ne donne que $0^{mc},70$ de mortier de ciment pur, et la prise de ce mortier ne s'obtient qu'au bout de 10 et même de 15 heures, ce qui permet d'en opérer le gâchage au rabot ou au manège, comme pour les mortiers de chaux.

On fabrique à Paris, et aux environs (Charonne, Argenteuil, Buttes-Chaumont, les Moulineaux, le Raincy) au moyen des marnes argileuses du gypse, des ciments qui, sous la dénomination de *ciments du bassin de Paris*, sont similaires du Portland de Boulogne-sur-Mer, lorsqu'on les obtient au moyen d'un choix parfait de marnes dépouillées de toutes parcelles de gypse, et d'une calcination qui doit arriver à fritter et agglutiner les produits.

Après un triage soigné des parties pulvérulentes et scorifiées, le ciment du bassin de Paris est pulvérisé sous des meules. Le poids du mètre cube est de 1.200 à 1.300 kilogr.

Les ciments cuits s'éventent plus facilement que le plâtre ; pour leur conserver toute leur énergie, on les garantit du contact de l'air et de l'humidité ; ils font prise en quelques minutes, et quelquefois en quelques secondes, quand ils sont bien vifs, et beaucoup plus lentement, quoique non éventés, après un certain

temps de conservation dans des barils. Lorsque la prise du ciment est trop rapide pour en permettre l'emploi, on peut la retarder en l'étendant en couches peu épaisses, pendant quelques jours sous un hangar ouvert.

Les ciments, en s'éventant, se chargent d'une quantité d'eau et d'acide carbonique proportionnelle à leur quantité de chaux. En cet état, ils ne font plus prise, employés seuls; en les mélangeant comme pouzzolane à de la chaux grasse, ils lui communiquent la propriété hydraulique à un degré bien supérieur à celui qu'on peut obtenir à l'état vif, et la durée de la prise en rend l'emploi facile. Selon le degré d'énergie qu'on veut communiquer à une chaux hydraulique ainsi obtenue, on mêle de 100 à 200 parties de ciment à 100 de chaux grasse. Mais, si le ciment éventé est employé comme pouzzolane, il suffit de lui adjoindre de 10 à 30 parties de chaux caustique pour 100.

Les ciments romains peuvent hydrauliser les chaux grasses par une action lente ou rapide. Dans le premier cas on opère le mélange du ciment en poudre avec la chaux en bouillie, sans se préoccuper de la prise du ciment, qui est détruite par l'effet d'un gâchage prolongé. Dans le second cas on cherche à profiter de la vivacité du ciment, et, pour cela, on n'en opère le mélange qu'avec le mortier et au moment de l'emploi, en tenant préalablement ce mortier plus clair et moins chargé en chaux qu'à l'ordinaire (Voir *Mortier bâtard*, p. 141).

Les ciments s'emploient pour rejointoiements, pour restaurations d'édifices dégradés, pour enduits de citernes, de bassins, de fosses d'aisances, pour chappes de voûtes, pour dallages et carrelages, pour moulages d'ornements d'architecture, etc. On en fabrique des tuyaux de conduite pour les eaux et pour le gaz d'éclairage; ils rendent des services pour les travaux à la mer, où l'on a surtout besoin d'une prise instantanée; mais tous ne résistent pas indéfiniment à l'action saline.

Les ciments n'offrent des garanties certaines de durée que sous l'eau, dans une terre fraîche, ou dans des lieux constamment humides; ils arrivent en quelques mois à une dureté que les meilleurs mortiers hydrauliques n'atteignent qu'après un an ou 18 mois.

Les bons mortiers de ciment atteignent en 3 jours 0,25 de leur dureté totale; après un an 0,90 et au bout de 18 mois leur dureté maximum.

En plein air, les rejointoiements et les enduits extérieurs en ciment tiennent difficilement, à cause du retrait qui les fendille et les détache des parements, si l'on emploie des mortiers trop gras. Tout ciment mis en œuvre contient, dit Vicat, une quantité d'eau qui, après une dessiccation en apparence complète, peut s'élever encore à 16 ou 20 0/0. Cette eau latente n'est pas telle-

ment fixée ou combinée que le temps, et surtout les grandes chaleurs de l'été, ne puissent en diminuer la quantité par évaporation; de là, des gerçures profondes. L'intervention du sable est le seul moyen à opposer au retrait qui produit ces gerçures, ainsi qu'aux effets destructeurs de la gelée; encore ne réussit-il pas toujours.

D'après l'Association autrichienne des Ingénieurs et des Architectes (1888), les ciments Portland sont des produits obtenus par la calcination *jusqu'à ramollissement*, suivie de la pulvérisation jusqu'à la finesse de la farine, soit de marnes naturelles, soit de mélanges artificiels de matériaux argileux et calcaires, renfermant, en poids, au moins 1,7 de chaux pour 1 partie de substance hydraulique. L'Association n'accorde le nom de Portland qu'aux ciments exempts de plus de 2 0/0 en poids de matières étrangères.

En dehors des ciments du tableau ci-après (p. 116), citons ceux de Roquefort, de Gap, de la Porte-de-France (Isère), de Moissac (Tarn), de Saint-Quentin, de Charonne, de Montreuil-sous-Bois, des Moulineaux, de la Grande-Chartreuse (Vicat), d'Uriage, de Voreppe (Isère), du Valbonnais, de Berry-au-Bac (Aisne), de Beffes (Cher).

Le *prix* du ciment à prise rapide est de 8 francs les 100 kilogr.; le ciment Portland vaut 15 francs.

Le ciment de la Porte-de-France fait prise en 5 et 20 minutes; celui de la Grande-Chartreuse en 8 et 15 heures.

Le *ciment de fontainier* est fait avec de la poudre de poterie de grès, de mâchefer, de tuileaux et de pierre meulière ; le tout, broyé avec de la bonne chaux vive, donne un ciment qui durcit bien sous l'eau.

Cahier des charges d'août 1885 pour la fourniture du ciment de Portland *aux ports de Calais et de Boulogne*

Définition. — M. Guillain définit le ciment Portland comme le produit de la mouture de roches scorifiées, obtenues, au moyen de la cuisson jusqu'à ramollissement, d'un mélange intime de carbonate de chaux et d'argile.

Le ciment doit être sec, bien pulvérulent et ne présenter aucune partie agglomérée par l'humidité.

Essais avec ciment pur. — Densité. — Pour obtenir, dans des conditions comparables, 1 litre non tassé de la fine poussière provenant du tamisage du ciment à travers un tamis de 5.000 mailles par centimètre carré, on posera sur un support une mesure cubique de 1 litre; au dessus on disposera un plan incliné à 45°, formé par une feuille de zinc de 0m,50 de long, dont le bord horizontal inférieur sera fixé à 0m,01 au-dessus du plan supérieur de la mesure ; on versera la poussière de ciment à la cuiller sur le sommet de ce plan incliné, jusqu'à ce que la mesure soit un peu plus que remplie, et on enlèvera l'excès de ciment en faisant glisser sur les bords de la mesure une lame droite tenue

dans un plan vertical. Pour avoir le poids de 1 litre, on fera une seule pesée du contenu total de 5 mesures remplies avec les précautions ci-dessus.

Le poids minimum obligatoire du litre non tassé sera déterminé de la manière suivante : On procédera à la mouture et au blutage d'un lot de roches lourdes très cuites, dont chaque morceau aura jusqu'au cœur une couleur noire, ou noir bleuâtre, ou noir verdâtre, et présentera la composition chimique qui correspond au dosage normal des pâtes. La mouture sera conduite de manière à donner, par le blutage ordinaire, un ciment qui laisse un résidu de 20 à 25 0/0 sur le tamis de 5.000 mailles par centimètre carré.

Le tamisage ayant été effectué sur ce tamis, après refroidissement complet du ciment, on déterminerá suivant le mode qui vient d'être décrit le poids du litre non tassé de la fine poussière obtenue. Le chiffre ainsi trouvé, diminué de 100 grammes pour tolérance, donnera le poids minimum obligatoire.

Composition chimique. — Tout ciment dans lequel l'analyse chimique aura accusé plus de 1 0/0 d'acide sulfurique, ou aura découvert des sulfures en proportion dosable, sera refusé.

On déclarera suspect tout ciment dans lequel l'analyse chimique aura accusé plus de 4 0/0 d'oxyde de fer, ou aura donné une valeur inférieure à 0,44 pour le rapport entre le poids total de la silice combinée et de l'alumine d'une part, et, d'autre part, le poids de la chaux.

Proportion d'eau à employer. — Dans les essais du ciment pur le ciment sera gâché avec de l'eau de mer.

L'eau et l'air, pendant les gâchages, seront maintenus à une température de 15 à 18°.

La proportion d'eau à mélanger avec le ciment pur sera la même pour tous les essais simultanés d'un même échantillon ; on déterminera, pour chaque échantillon, la proportion normale d'eau, par un essai préalable. La proportion normale trouvée ne sera valable que pour les essais à faire pendant la journée.

Le mortier sera obtenu en prenant 900 grammes de ciment et en y versant d'un seul coup la quantité d'eau à employer. Le mélange et le gâchage seront faits à la truelle, sur une plaque de marbre, pendant 5 minutes comptées à partir du moment où l'eau aura été versée.

La quantité d'eau ajoutée sera considérée comme donnant la proportion normale, si le mortier ainsi obtenu forme une pâte ferme, mais bien liée, brillante et plastique, satisfaisant aux conditions suivantes :

1° La consistance de la pâte ne doit pas changer sensiblement si le gâchage est prolongé pendant 3 minutes au-delà de la durée initiale de 5 minutes ;

2° Une petite quantité de pâte étant prise avec la truelle, si on la laisse tomber sur le marbre d'une hauteur de 0m,50 environ, elle doit se détacher de la truelle sans y laisser aucune partie adhérente et, après sa chute, conserver à peu près sa forme sans qu'il se produise aucune crevasse ;

3° Une petite quantité de pâte étant prise dans la main, il devra suffire de lui imprimer quelques légères secousses pour lui donner une forme arrondie et faire venir l'eau à la surface ; elle ne devra, ni s'aplatir complètement, ni s'attacher à la peau, et si on laisse tomber la boulette ainsi formée, d'une hauteur de 0m,50, elle devra conserver.

en s'affaissant légèrement, une forme arrondie, sans présenter aucune crevasse ;

4° La proportion d'eau doit être telle que le gâchage étant effectué avec une quantité d'eau moindre, la pâte soit sèche, peu liée, et se crevasse en tombant de la truelle ou de la main ; elle doit être telle qu'une faible augmentation de la quantité d'eau (de 1 à 2 0/0 au plus du poids du ciment) suffise pour changer la nature de la pâte, la ramollir et lui donner une consistance boueuse, caractérisée par l'adhérence à la truelle et une tendance à s'aplatir, qui ne permet pas de la mettre en boule.

Ce dernier changement de caractère, produit par le passage de la consistance plastique à la consistance boueuse, étant le plus nettement tranché, on fera d'abord le gâchage avec une quantité d'eau assez faible pour donner une pâte trop sèche. On recommencera l'opération le nombre de fois nécessaire, en opérant chaque fois sur une nouvelle quantité de 900 grammes de ciment et en augmentant chaque fois de 20 centimètres cubes la quantité d'eau, jusqu'à ce que, une opération ayant donné, avec une certaine proportion d'eau, une pâte de consistance ferme et plastique, l'opération suivante, avec 20 centimètres cubes d'eau de plus, donne une pâte boueuse. On fera alors un dernier essai avec 10 centimètres cubes de moins que dans l'opération qui aura donné la pâte boueuse.

On adoptera, comme proportion normale, la plus forte proportion d'eau essayée qui aura encore donné lieu à une pâte plastique et non boueuse, satisfaisant aux conditions ci-dessus.

Durée de la prise. — Pour déterminer le *début de la prise* et la *durée de la prise* du ciment, on gâchera 900 grammes à la truelle sur une plaque de marbre pendant 5 minutes, avec une quantité d'eau de mer correspondant à la proportion normale déterminée dans l'essai préalable. La totalité de l'eau sera versée d'un seul coup sur le ciment. On prendra une partie de la pâte ainsi obtenue et on en remplira une boîte cylindrique en métal de 0m,04 de hauteur sur 0m,08 de diamètre. On imprimera ensuite de légères trépidations à la boîte pendant quelques instants. On laissera au-dessus du ciment, dans la boîte, l'eau que cette trépidation lui aura fait rejeter. Puis, au-dessus de la boîte, on suspendra, à un fil passant sur une poulie, une aiguille prismatique (aiguille de Vicat, modifiée par Tetmajer), pesant 300 grammes, et ayant une section carrée de 1 millimètre de côté.

On considérera comme le début de la prise, le moment où la masse ne se laissera plus pénétrer totalement par l'aiguille descendue progressivement et avec précaution.

La prise sera considérée comme terminée lorsque la surface du ciment pourra supporter l'aiguille sans qu'elle y pénètre d'une quantité appréciable.

Si le ciment commence à prendre avant un délai de 30 minutes ou termine sa prise avant un délai de 3 heures, la fourniture d'où provient l'échantillon essayé sera refusée.

Ces délais seront comptés à partir du moment où l'eau aura été versée sur la poudre sèche de ciment. La température, pendant l'opération, devra être entre 15 et 18°.

Absence de fissures après la prise. — Après le remplissage de la

boîte métallique contenant la pâte destinée à l'essai de la prise, on emploiera le reste de la gâchée mentionnée dans l'article précédent, en préparant, sur des plaques de verre, des galettes circulaires de 0m,08 à 0m,10 de diamètre, dont l'épaisseur, égale à 0m,02 environ dans la partie centrale, ira en diminuant vers les bords où elle sera presque nulle.

On immergera les plaques de verre et les galettes qu'elles portent dans un bac rempli d'eau de mer dont la température sera maintenue, autant que possible, entre 15 et 18°.

Si on remarque, avant la réception définitive, sur une quelconque des galettes, des plissements ou crevasses, la fourniture d'où provient l'échantillon essayé sera refusée.

Résistance à la traction des briquettes de ciment pur. — La pâte de ciment pur, destinée aux essais de résistance à la traction, sera obtenue chaque fois en gâchant à la truelle, sur une plaque de marbre, pendant 5 minutes, 900 grammes de ciment avec la proportion normale d'eau de mer. Cette gâchée donnera assez de pâte pour faire 6 briquettes.

Fig. 31.

Chaque essai devant comprendre 18 briquettes, on aura ainsi à faire trois gâchées successives dans les mêmes conditions.

Les briquettes auront la forme représentée ci-contre (*fig.* 31) sur une épaisseur de 0m,0222 ; la section de rupture sera ainsi de 5 centimètres carrés.

Les moules présentant en creux la forme des briquettes, après avoir été nettoyés et humectés, seront placés sur une plaque de marbre ou de métal poli, posée horizontalement sur un support inébranlable.

On remplira d'une même gâchée, faite suivant les indications données plus haut, 6 moules à la fois, en mettant assez de pâte du premier coup dans chaque moule pour que la pâte en déborde.

On enfoncera la pâte plastique dans le moule avec le plat de la truelle. Quand le remplissage sera complet, on donnera de petits coups de truelle sur les côtés du moule pour ramollir un peu le ciment et faire dégager les bulles d'air ; on s'arrêtera quelques instants après que le ciment se sera couvert d'une petite couche d'eau.

Aussitôt que la consistance de la briquette permettra de le faire, on en réglera la face supérieure, en faisant passer sur les bords du moule la lame parfaitement droite d'un couteau, tenue presque horizontalement, le tranchant en avant, de manière à enlever tout l'excédent de pâte sans exercer aucune compression.

Après un certain temps, au moins égal à la durée de la prise constatée au préalable, on desserrera les moules et on les éloignera des briquettes sans soulever celles-ci ni leur faire quitter la plaque.

Pendant les 24 premières heures qui suivront le commencement du gâchage de la pâte, les briquettes seront conservées sur leur plaque, dans une atmosphère humide, à l'abri des courants d'air et des rayons directs du soleil, à une température comprise, autant que possible, entre 15 et 18°.

Au bout de 24 heures, on les immergera dans un bac rempli d'eau de mer.

L'eau du bac contenant les briquettes sera renouvelée toutes les semaines et sera toujours maintenue, autant que possible, à une température comprise entre 15 et 18°.

Pour chaque échantillon de ciment à essayer, on fera, dans les conditions précitées, 18 briquettes de ciment pur, dont 6 destinées à être rompues au bout de 7 jours, 6 au bout de 28 jours, et 6 au bout de 84 jours ; ces délais étant comptés à partir du moment du gâchage du mortier. Pour chaque série de ruptures, on prendra 2 briquettes de chaque gâchée.

Les briquettes seront rompues par extension. Parmi les six résultats obtenus dans chaque série, on choisira les trois résultats les plus élevés ; la moyenne de ces trois résultats sera le chiffre admis pour la résistance de l'échantillon éprouvé au moment de l'essai.

La résistance des briquettes de ciment pur, à l'expiration du 7e jour, devra être d'au moins 20 kilogr. par centimètre carré de la moindre section des briquettes d'essai.

Elle devra être d'au moins 35 kilogr. par centimètre carré à l'expiration du 28e jour.

Toute fourniture d'où proviendrait un échantillon ne satisfaisant pas à ces deux conditions sera refusée.

La résistance par centimètre carré des briquettes de ciment pur, constatée au bout de 28 jours, devra d'ailleurs dépasser d'au moins 5 kilogr. celle qui aura été constatée au bout de 7 jours ; sinon, la fourniture d'où provient l'échantillon essayé sera déclarée suspecte. Toutefois la suspicion ne serait pas soulevée si la résistance constatée au bout de 28 jours était d'au moins 55 kilogr.

La résistance par centimètre carré des briquettes de ciment pur, constatée au bout de 84 jours, devra être d'au moins 45 kilogr.

De plus, elle devra dépasser la résistance constatée au bout de 28 jours, quand celle-ci n'aura pas été d'au moins 55 kilogr.

Toute fourniture d'où proviendrait un échantillon qui ne satisferait pas à ces deux conditions serait refusée.

Essais avec mortier de sable normal. — Le mortier de ciment et sable normal avec lequel seront faits tous les essais de résistance par traction, sera composé en poids de 1 partie de ciment sec et de 3 parties de sable normal sec.

Sable normal. — Le sable à employer sera un sable quartzeux, obtenu par le concassage et la pulvérisation des quartzites extraits des carrières de la montagne du Roule à Cherbourg. Ce sable, passé à travers un tamis de 64 mailles par centimètre carré, aura été repris sur un tamis de 144 mailles par centimètre carré pour en éliminer les grains trop fins. Le résidu de ce second tamisage, lavé à grande eau et séché, constituera le sable normal.

Mode d'exécution des essais. — Le poids d'eau de mer à incorporer au mélange de sable et de ciment pour faire le mortier sableux normal sera égal à 2 0/0 du poids total du ciment et du sable.

Chaque gâchée comprendra la quantité de mortier nécessaire pour faire trois briquettes avec un léger excédent. On emploiera 125 grammes de ciment et 375 grammes de sable. Chaque essai devant comprendre 18 briquettes, on aura ainsi à faire 6 gâchées successives dans les mêmes conditions.

Les moules à briquettes et l'appareil d'essai seront les mêmes que ceux employés pour les essais des briquettes de ciment pur.

On préparera les briquettes d'essai de la manière suivante :

Ayant placé sur un support inébranlable une plaque de marbre ou de métal poli, on y déposera les moules, préalablement bien nettoyés et humectés. On pèsera 125 grammes de ciment et 375 grammes de sable, que l'on mélangera intimement à sec dans une capsule avec une spatule. On y ajoutera la quantité d'eau de mer nécessaire (soit 60 centimètres cubes), puis on remuera fortement toute la masse avec la spatule, pendant 5 minutes, comptées à partir du moment où l'eau aura été versée. On obtiendra ainsi un mortier ayant l'aspect de la terre humide fraîchement remuée. Ce mortier sera introduit d'une seule fois dans les moules, en quantité suffisante pour qu'il fasse encore saillie au-dessus des bords après le damage.

On damera le mortier dans le moule avec une petite massette du poids d'environ 200 grammes, d'abord à petits coups répétés, sur le pourtour de la briquette, puis au centre ; on frappera ensuite plus énergiquement, en suivant toujours le même chemin, et on continuera le damage jusqu'à ce que la masse commence à prendre un peu d'élasticité et sue l'eau à la surface. On enlèvera alors le trop-plein du moule avec une lame de couteau bien droite, et on lissera la surface en promenant le couteau appuyé sur les bords du moule.

Lorsque le mortier sera suffisamment durci, on desserrera les moules et on les enlèvera sans soulever les briquettes, ni leur faire quitter la plaque.

Pendant les 24 premières heures qui suivront le commencement du gâchage du mortier, les briquettes seront conservées sur leur plaque, dans une atmosphère humide, à l'abri des courants d'air et des rayons directs du soleil, à une température maintenue, autant que possible, entre 15 et 18°.

Au bout de 24 heures on les immergera dans un bac rempli d'eau de mer.

L'eau des bacs contenant les briquettes sera renouvelée toutes les semaines, et sera toujours maintenue, autant que possible, à une température comprise entre 15 et 18°.

Pour chaque échantillon de ciment à essayer, on fera, dans les conditions précitées, 18 briquettes de mortier sableux normal, dont 6 destinées à être rompues au bout de 7 jours, 6 au bout de 28 jours, et 6 au bout de 84 jours ; ces délais étant comptés à partir du moment du gâchage du mortier. Pour chaque série de ruptures, on prélèvera une briquette provenant de chacune des 6 gâchées différentes.

Sur les 6 résultats obtenus dans chaque série, on prendra les 3 résultats les plus élevés ; la moyenne de ces 3 résultats sera le chiffre admis pour la résistance du ciment éprouvé au moment de l'essai.

Résistance des briquettes de mortier. — La résistance du mortier sableux normal, à l'expiration du 7e jour, devra être d'au moins 8 kilogr. par centimètre carré de la moindre section des briquettes.

Elle devra être d'au moins 15 kilogr. par centimètre carré à l'expiration du 28e jour.

Toute fourniture d'où proviendrait un échantillon ne satisfaisant pas à ces deux conditions sera refusée.

La résistance par centimètre carré du mortier sableux normal, constatée au bout de 28 jours, devra d'ailleurs dépasser celle qui aura été constatée au bout de 7 jours d'au moins 2 kilogr., sinon la fourniture d'où provient l'échantillon essayé serait déclarée suspecte.

La résistance par centimètre carré du mortier sableux normal, constatée au bout de 84 jours, devra être d'au moins 18 kilogr. ; elle devra toujours dépasser la résistance constatée au bout de 28 jours.

Toute fourniture d'où proviendrait un échantillon ne satisfaisant pas à ces deux conditions sera refusée.

Réception provisoire. — Seront admises à réception provisoire :

1° Les fournitures dont tous les échantillons essayés ont subi, sans être déclarés suspects ou rebutés, toutes les épreuves relatives à la densité, à la composition chimique, à la durée de la prise, à la résistance des briquettes de ciment pur et de mortier sableux après 7 jours et après 28 jours, abstraction faite des épreuves de résistance à 84 jours, qui ne seront considérées comme indispensables à la réception provisoire que pour le cas des ciments suspects ;

2° Les fournitures déclarées d'abord suspectes, à raison d'un des cas prévus plus haut, mais dont tous les échantillons essayés, après avoir satisfait aux conditions obligatoires sur la teneur en acide sulfurique et sulfures, sur la durée de la prise et l'absence de fissures, sur la résistance à la traction après 7 et 28 jours, des briquettes de ciment pur et de mortier sableux, ont subi finalement avec succès les épreuves relatives à la résistance à la traction après 84 jours.

Réception définitive. — Le ciment sera déclaré admis définitivement au moment de la sortie du magasin du chantier pour l'emploi, ce qui n'aura lieu d'ailleurs que si, depuis l'époque de la réception provisoire, le ciment n'a pas été frappé de rebut, soit en raison des résultats défectueux des essais à 84 jours, soit en raison de la présence de fissures dans les galettes confectionnées au moment des essais sur la durée de la prise, soit en raison de l'état d'humidité des sacs.

Ciment de Vassy. — En 1831, H. Gariel découvrit les carrières de ce ciment naturel, à Vassy-lez-Avallon (Yonne).

Ce ciment provient d'un calcaire argileux et magnésien dur, d'une couleur bleu cendre, que l'on trouve immédiatement au-dessus du liais, et dont la composition chimique est :

Carbonate de chaux	63,8
— magnésie	1,5
— fer	11,6
Silice	14,0
Alumine	5,7
Eau et matières organiques	3,4
	100,0

Réduit par la calcination dans des fours à chaux ordinaires, il perd 40 0/0 de son poids ; sa couleur devient jaune terne, et il a donné à l'analyse :

Chaux	56,6
Protoxyde de fer	13,7
Magnésie	1,1
Silice	21,2
Alumine	6,9
Perte	0,5
	100,0

Composition de quelques ciments (*d'après Vicat*).

DÉSIGNATION DES CIMENTS	CHAUX	MAGNÉSIE	MATIÈRES inertes	SILICE	ALUMINE	PEROXYDE de fer	EAU et acide carbonique	ACIDE sulfurique	PRINCIPES alcalins	PRINCIPES actifs pour 1 de chaux
Ciments naturels										
Ciment anglais (Médina).....	43,45	13,95	»	19,50	5,60	12,05	2,50	0,80	2,15	0,90
— de Cahors.....	44,45	4,80	»	26,00	12,15	5,50	4,58	1,32	1,20	0,96
Ancien ciment de Boulogne (Pas-de-Calais).....	49,28	2,58	4,305	28,020	9,575	5,726	»	0,514	»	0,81
Ciment de Pouilly (Côte-d'Or).....	49,60	»	»	26,000	10,005	5,100	7,25	0,850	1,195	0,72
— de Grenoble (Isère)..	58,08	2,132	»	20,887	13,075	3,026	»	2,80	»	0,65
— de Guetary (Basses-Pyrénées).....	58,79	»	»	24,748	9,518	5,902	0,785	0,257	»	0,58
— de Vitry-le-François.....	55,70	»	»	20,000	9,770	4,330	6,500	0,200	3,30	0,53
— d'Urrugne (Basses-Pyrénées).....	63,44	1,11	»	22,75	8,75	3,75	»	0,200	»	0,51
— de la Butte-Chaumont (Seine).....	62,04	2,371	»	22,765	8,254	4,57	»	»	»	0,53
— de Zumaya (Espagne).....	30,90	»	6,65	25,00	18,55	7,45	7,60	»	3,85	0,41
— de Vassy (Yonne).....	49,50	»	»	17,75	6,80	7,35	3,60	5,00	»	0,41
Ciments artificiels										
Ciment de Portland (anglais).....	63,70	»	»	20,84	6,66	5,30	2,30	1,20	»	0,43
— de Portland (français).....	61,75	»	»	25,10	7,25	4,50	1,40	»	»	0,52
— français avec argile pure...	55,555	»	»	28,72	15,725	»	»	»	»	0,80
— français avec argile pure...	60,960	»	»	25,40	14,00	»	»	»	»	0,65

Après la calcination on pulvérise le ciment à l'aide de meules verticales, mues par des manèges et par une machine à vapeur; puis on le tamise dans un blutoir à toile en cuivre de 18 fils par centimètre, et alors on l'enferme dans des barriques goudronnées et garnies de papier à l'intérieur, pour en faciliter le transport et en assurer la conservation. En cet état, le ciment peut se conserver pendant plus d'une année sans rien perdre de ses qualités, pourvu qu'on le place dans un lieu sec et hors de contact avec le sol.

L'avarie du ciment ayant pour cause principale l'humidité de l'air, elle se manifeste d'abord au contact des parois de la barrique, puis gagne jusqu'au centre; il arrive que le contenu d'une barrique est avarié à la surface, tandis qu'il est d'excellente qualité au centre. Pour que le ciment puisse être d'un bon emploi, il faut que les fragments non désaggloméré cèdent sous la pression des doigts, et que sa couleur n'ait éprouvé aucune altération.

Le ciment en poudre est très compressible; sa densité est variable.

	Densité.
Mesure très libre, litre par litre, à la sortie du blutoir....	0,80
Comprimé dans les barriques pour être livré à la consommation.....	1,18
Au-delà de ce degré de compression il acquiert, avec le temps, une force d'expansion suffisante pour briser l'enveloppe.	
On peut par la compression arriver à.....	1,50
Dans cet état, les barriques se briseraient promptement.	
Retiré des barriques et mesuré immédiatement par petites parties au moment de l'emploi, de nombreuses expériences ont donné.....	0,96
Cette dernière valeur doit être prise pour base dans les calculs de sous-détails de travaux.	

Le ciment pèse environ 1.150 kilogr. le mètre cube.

La quantité de mortier obtenue est proportionnelle au poids du ciment employé; pour cette raison, le prix de celui-ci est fixé d'après le poids et non d'après le volume. On compte le poids des barriques au même prix que leur contenu. Le poids de l'enveloppe varie de 0,08 à 0,12 du poids total, suivant la densité et l'épaisseur du bois, soit 0,1 en moyenne. Chaque barrique contient de 100 à 235 litres de ciment, et pèse de 130 à 300 kilogr.

Quand le ciment doit être employé de suite et en grande quantité, il y a avantage de l'expédier dans des sacs de toile qui en contiennent de 45 à 50 kilogr. Par ce moyen on évite l'achat et le transport des barriques, qui se payent aux 8 à 12 0/0 du poids total.

Le ciment s'emploie sous la forme de mortier, avec ou sans sable, en y ajoutant la moitié de son volume d'eau.

Un mètre cube de ciment en poudre, pris à la densité 0,96, et converti en mortier sans mélange de sable, perd 17 0/0 de son volume, et ne donne que $0^{me},83$ de mortier.

On emploie rarement le ciment pur; on le mélange avec une certaine quantité de sable pur et purgé de vase et de toute matière terreuse. On obtient un mortier plus résistant, moins sujet à se fendiller, plus économique, mais qui prend moins vite.

Ordinairement le mortier est composé de volumes apparents égaux de sable et de ciment; mais, lorsqu'il doit résister à une forte pression d'eau, il convient d'élever la dose de ciment dans le rapport de 3 pour 2 de sable, et même dans celui de 2 à 1 pour de très fortes charges d'eau; 2 parties de ciment pour 3 parties de sable donnent encore un bon mortier, quoique plus maigre.

Le mortier de ciment gâché et appliqué convenablement est à peu près imperméable. Cette propriété augmente dans un certain rapport avec l'épaisseur, et diminue avec une trop forte dose de sable. Un enduit de $0^{m},05$ d'épaisseur, de 3 parties de ciment pour 2 parties de sable, peut supporter une charge d'eau de 5 à 6 mètres de haut.

Les mortiers de ciment pur ne sont guère en usage que pour les cas où un durcissement instantané est nécessaire, comme pour l'étanchement de sources dans les radiers des bassins et écluses.

La prise du mortier de ciment de Vassy, gâché à la sortie du blutoir, sans mélange de sable, s'opère en 1 ou 2 minutes, quand le calcaire provient des bancs supérieurs; la durée de prise est de 5 à 7 minutes quand le ciment provient des bancs inférieurs; lorsqu'on élève la température de cuisson, cette durée de prise atteint parfois 4 à 5 heures. L'intervalle entre le moment du gâchage et celui du durcissement augmente avec l'âge du ciment, l'abaissement de la température et la quantité de sable, surtout si celui-ci est humide, et il peut s'élever jusqu'à une demi-heure en été et une heure en hiver, sans que le ciment ait rien perdu de ses autres qualités.

Au moment où commence le durcissement, et pendant que s'opère la combinaison, la température du mortier sans sable atteint quelquefois 65° quand le ciment est gâché pur.

Le ciment qui vient d'être employé est jaune terre foncé; en séchant, il prend une couleur analogue à celle de la pierre de taille.

Ciment métallique pour réparation de monuments. — Composition en poids : oxyde de zinc, 2; calcaire dur écrasé, 2; grès pilé, 1. On broie et l'on mélange intimement. On ajoute un peu d'ocre pour imiter le ton de la pierre.

La composition liquide comprend une solution de zinc, dans

l'acide chlorhydrique, à laquelle on ajoute du chlorhydrate d'ammoniaque. Les proportions en poids sont les suivantes : limaille de zinc, 6 ; chlorhydrate d'ammoniaque, 1. On étend le liquide avec les deux tiers de son volume d'eau.

Pour constituer le ciment, on gâche 1 kilogr. de la poudre préparée avec 30 décilitres de la liqueur. Pour faire des réparations sur plus de 3 centimètres d'épaisseur, on rocaille le fond de la reprise avec de la bonne pierre, avant d'appliquer le ciment. Ce ciment donne, après 48 heures, une résistance à la traction de 10 kilogr. par centimètre carré, et de 48 kilogr. après 4 mois. La résistance à l'écrasement, après une année, s'est élevée à 280 kilogr.

Résistance des ciments. — A mesure que l'alumine diminue par rapport à la silice dans les ciments, la résistance de ces derniers augmente. Ce fait résulte des expériences faites à l'École des Ponts et Chaussées de Paris sur des ciments, après 30 jours d'immersion sous l'eau.

PROVENANCE	PROPORTION DE L'ALUMINE à la silice	RÉSISTANCE PAR CENTIMÈTRE CARRÉ à la traction	à l'écrasement
		kilog.	kilog.
Porte-de-France.....	0,80	11,00	50,00
Boulogne (Lonquéty).....	0,68	17,28	225,80
Boulogne (Framchon).....	0,67	22,32	228,80
Tenay (Meurgey et Cie).....	0,66	22,20	229,70
Voreppe (Thorrand et Cie)....	0,58	24,62	199,68
Grenoble (Bertet-Sisteron)...	0,50	25,00	»
Portland (anglais).....	0,47	»	200,00
Saint-Victor-la-Coste.....	0,30	33,30	370,00
Valbonnais (Pelloux et Cie)..	0,16	33,50	390,00

La résistance à la traction et à l'écrasement augmente avec la lenteur de la prise.

Résistance des mortiers de ciment (*d'après de Perrodil*). — Les ciments expérimentés sont ceux de Boulogne-sur-Mer (Demarle et Lonquéty), composés de 23,8 de silice ; 1,3 de sables quartzeux ; 8,9 d'alumine ; 2 de peroxyde de fer ; 63,6 de chaux ; 0,4 de magnésie. Des cubes de ce mortier pur sans mélange de sable ont été exposés à l'air ou plongés dans l'eau ; ils ont donné les résultats suivants :

AGE des MORTIERS	PROPORTIONS P. 100 DANS LES MORTIERS A L'EAU		PROPORTIONS P. 100 DANS LES MORTIERS A L'AIR		CHARGE D'ÉCRASEMENT PAR CENTIMÈTRE CARRÉ DES MORTIERS	
	d'eau	d'acide carbonique	d'eau	d'acide carbonique	à l'eau	à l'air
					kilog.	kilog.
1 jour	6,4	0	6,1	0	43,6	33,6
3 »	8,7	0	6,2	1,8	119,2	84
7 »	9,2	0	6	1,8	141,6	104,9
15 »	12,8	0	8	1	163,4	122,8
1 mois	15,4	0	6,5	2,8	234,2	103
2 »	14,6	0	7,6	4	293,4	123,8
3 »	11,2	0	4,3	6	231,8	126,6
6 »	15,3	0	8,3	5,8	329,6	171,6

Pour *essayer les ciments et mortiers*, on moule le mortier sous forme de briquettes en se servant d'un moule spécial; on laisse durcir ces briquettes dans le sable humide ou dans l'eau. Après un nombre de jours déterminé, on les essaye avec des machines spéciales en les soumettant à des efforts jusqu'à leur cassure (Voir ci-avant, p. 112).

Le séjour des ciments dans les silos permet l'extinction de la chaux libre qui peut se trouver accidentellement dans les ciments. Sous l'action de l'humidité de l'air, les fulminates se décomposent en produits plus stables, ce qui conjure les fendillements ou la désagrégation qui pourraient se manifester en œuvre. Les ciments très siliceux ont un grand avantage sur les ciments argileux dans les travaux à la mer.

Emploi du ciment frais. — Il est dangereux d'employer le ciment fraîchement fabriqué, à cause de la grande quantité de chaux libre qu'il peut contenir. Cette chaux, en s'éteignant, augmente de volume pendant que le ciment fait prise. La dilatation qui en résulte détermine des ruptures. On évite ces accidents en exposant le ciment à l'air avant de l'employer, et en laissant 5 minutes entre le malaxage avec le sable et l'instant de l'emploi. Il faut s'assurer si la température ne s'élève pas au moment où l'on verse l'eau sur le ciment.

Ciment de calcaires magnésifères (*G.-J. Peschl, de Prague*). — On cuit isolément un calcaire magnésifère; puis, après avoir éteint la chaux et l'avoir mélangée avec le sable, on fait du mélange une pâte très épaisse, au moyen d'eau renfermant en dissolution 1 partie de soude et 1 de potasse pour 100 du mélange sec de chaux et de sable. Cette pâte épaisse est façonnée en briquettes que l'on calcine et qui constituent le ciment. L'eau alcaline dissout la magnésie contenue dans la chaux. Pendant la cal-

cination, une combinaison se fait entre la magnésie et les alcalis (soude et potasse). Quand on mouille le ciment pour l'employer, cette combinaison se dissout, et la chaux s'éteint.

Ciment de magnésie (*Sorel*). — S'obtient en malaxant de la magnésie pulvérulente avec une solution de chlorure de magnésium ordinaire au titre de 30 à 70 0/0. Résistance à la traction : 150 kilogr. par centimètre carré, soit le triple ou le quadruple de celle du ciment de Portland.

Mais l'action de l'eau détruit la combinaison chimique et désagrège sa masse. On ne peut donc employer le ciment Sorel qu'à des travaux secondaires, non exposés aux intempéries.

Ciment silico-magnésique (*formule Weber*). — 100 parties de magnésie, 15 d'acide silicique anhydre et 90 de solution de chlorure magnésique à 80 0/0. Ce ciment présente à la traction une résistance de 90 à 125 kilogr. par centimètre carré; il est indifférent à l'action de l'eau, même chaude. Il fait prise au bout de 10 heures. Il est de couleur blanche.

Travaux en ciment à ossature métallique (*ciment armé*). — On fait un judicieux emploi du ciment dans les travaux à ossature de fer. Le principe consiste à noyer dans une couche de ciment, d'une épaisseur de plusieurs centimètres, un treillis métallique à mailles de 6 à 10 centimètres de côté; on obtient ainsi un monolithe à toute épreuve. Il est bon de noter que le fer se conserve parfaitement dans le ciment, alors qu'il se rouille et se gonfle dans la maçonnerie. Le ciment a procuré une résistance remarquable qu'on peut évaluer dans les canalisations d'eau, jusqu'à 5.300 kilogr. de charge par mètre de longueur avec la faible épaisseur de 0,04 de ciment.

On emploie aussi le ciment dans les hourdis de planchers en fer (Voir *Planchers*).

Ciment de laitier. — M. Farinaux a utilisé, dès 1883, les laitiers de hauts-fourneaux pour faire un ciment plus économique que le ciment Portland. Les laitiers calcaires contiennent les éléments constitutifs des ciments, mais moins de chaux et plus de silice; en ajoutant la proportion voulue de chaux caustique, on obtient un produit ayant la composition du ciment. On ajoute 1,5 0/0 de soude Solway à 95° qui, en se décomposant par la chaleur, donne au ciment, par l'incorporation de sa base alcaline, une plus grande facilité de prise. On obtient ainsi du ciment au prix de 9 à 10 francs la tonne. Ce prix s'abaisse si on substitue à la pierre à chaux et à la chaux caustique les résidus épurés des usines à gaz.

MM. Gustave Raty et Cie mélangent à froid les scories des hauts-fourneaux avec de la chaux éteinte, et surtout celles provenant des calcaires silico-magnésiques. Suivant les degrés d'hydraulicité, de dureté ou d'adhésion qu'on veut obtenir, on augmente les proportions d'argile, de silice ou de chaux. Toutes ces

matières sont réduites en poudre très fine, très sèche et bien tamisée. Le ciment de G. Raty et Cie, de Saulnes (Meurthe-et-Moselle), diffère du Portland : 1° par une plus faible teneur en chaux et une proportion plus grande des deux facteurs hydraulisants, silice et alumine ; 2° par sa moindre densité. La différence de poids est d'environ 300 kilogr. par mètre cube.

Avec le ciment de laitier il n'y a pas à craindre les boursouflements faisant éclater la maçonnerie environnante, les éléments qui le composent n'étant pas susceptibles de se dilater. Il est éminemment hydraulique, peut être immergé aussitôt après le gâchage, ne se dilate pas sous l'eau ; employé à forte dose dans les travaux aériens, il convient d'en maintenir la surface humide pendant quelques jours.

Sa prise commence 3 heures après le gâchage, et sa durée de prise est de 4 à 6 heures. Il a une très grande force adhésive aux divers matériaux. En vertu de son extrême ténuité, il remplit, mieux que tout autre, les vides du sable, ce qui rend son emploi recommandable pour les travaux étanches. Dans ce cas, un mélange à parties égales de sable de rivière et de ciment assure une imperméabilité absolue.

Le ciment de laitier peut remplacer le ciment ordinaire dans toutes ses applications ; il a une belle teinte blanche, et il peut, comme le plâtre, supporter la peinture sans s'altérer.

Composition du ciment de laitier

Silice	22,45	Total : 100
Alumine	13,25	
Peroxyde de fer	3,30	
Chaux	51,10	
Magnésie	1,35	
Divers	7,85	

Fabrication du ciment de laitier. — A Vitry-le-François on fabrique un excellent ciment de laitier.

Le laitier employé provient des hauts-fourneaux de Pont-à-Mousson et se compose de 22 d'alumine, 32 de silice, 42 de chaux et 4 d'oxydes de fer, de magnésie et divers.

Les laitiers noirs, c'est-à-dire contenant une forte proportion d'oxydes métalliques, ne conviennent pas à la fabrication du ciment. Le laitier est d'autant meilleur qu'il a été refroidi plus brusquement. Tout en étant très basique, le laitier ne doit cependant pas être fusant, c'est-à-dire que le silico-aluminate qui le constitue ne doit pas contenir de chaux en excès, car alors il surnage et se trouve expulsé du fourneau avant que la température ait atteint un degré suffisant pour en développer les qualités pouzzolaniques.

Pour produire un brusque refroidissement du laitier, à sa sortie du haut-fourneau on lui injecte, aussi près que possible de la

tuyère, un excès d'eau sous pression qui l'entraîne dans un bac en maçonnerie où il se dépose sous forme de sable granuleux. On enlève le sable ainsi obtenu après chaque coulée, en rejetant le commencement et la fin de l'opération, et on le transporte à Vitry. Là on le dessèche (car il contient 9 0/0 d'eau), en le répartissant dans des étuves ou séchoirs à tablettes au moyen d'un transporteur. Chaque étuve se compose de 4 séries de planchettes en tôle superposées et inclinées en sens inverse. A sa sortie de l'appareil, le sable a encore une température de 150°, après avoir été porté, à l'intérieur, à 600 ou 700°.

Le laitier étuvé est ensuite déversé dans la cuve d'une chaîne à godets qui le transporte à l'atelier de broyage. Ce laitier est d'abord déposé dans un crible mécanique, qui sépare les scories et autres corps étrangers, puis il est réparti par des conduits dans 6 broyeurs. A la sortie des broyeurs, le laitier pulvérisé est bluté. On obtient ainsi une farine grisâtre extrêmement fine et onctueuse.

Cette farine est mélangée avec de la chaux dans 5 mélangeurs constitués par des cylindres en tôle d'acier, tournant autour de leur axe horizontal. La production est de 1.100 kilogr. de ciment en 80 minutes. A sa sortie des mélangeurs, le ciment se déverse dans un vaste entonnoir en tôle, fermé à la partie inférieure par un obturateur qui sert à la mise en sacs.

La chaux employée a un degré d'hydraulicité de 0,32 à 0,35.

Fabrication des briques de laitier et des tuyaux en ciment. — A Vitry, les briques sont constituées par un mélange de 60 litres de chaux grasse et de 250 à 300 litres de laitier. Ce mélange est malaxé avec de l'eau, et la pâte ferme obtenue est agglomérée dans des presses à main ou à vapeur. Les briques de parement sont composées d'un mélange de ciment et de sable siliceux.

Les briques de laitier sont surtout appréciées pour les fondations et les soubassements, car elles n'y subissent aucune altération. Elles peuvent être employées pour pavages des cours et trottoirs et pour constructions économiques.

La fabrication de tuyaux est faite avec du ciment de laitier et du sable siliceux de la Moselle. On emploie 500 kilogr. par mètre cube de sable, et le mortier obtenu dans des malaxeurs est pilonné avec une batte en fer dans des moules en tôle d'acier. On démoule aussitôt que le moulage est terminé et, après 3 jours de séchage, les tuyaux sont immergés dans un bassin pendant 24 heures. Ils séjournent ensuite 3 ou 4 mois dans le parc de l'usine avant d'être livrés à la consommation.

Ces tuyaux durcissent à l'humidité et ne donnent aucun goût à l'eau, de sorte qu'ils peuvent être employés concurremment avec les tuyaux en fonte ou en grès.

Le ciment de laitier peut rivaliser, comme qualité, avec les meilleurs portlands dans les travaux hydrauliques. Mélangé avec

la chaux, il en améliore la qualité et en accélère la prise. On l'emploie encore pour mortiers et bétons, pour chapes de dallage et enduits à l'air, en ayant soin de tenir les travaux à l'humidité pendant quelques jours.

La résistance à l'arrachement du ciment de Vitry peut atteindre 49 kilogr. par centimètre carré, au bout d'un an de prise.

Ciment artificiel de schistes. — Les éléments argileux du ciment se rencontrent dans des combustibles pauvres qui sont inutilisables. Les schistes houillers peuvent donc servir à fabriquer des ciments artificiels.

Les schistes houillers contiennent 41 à 45,6 0/0 de silice, 13 à 19 d'alumine, 5,40 à 7,30 de peroxyde de fer, 23 à 30 de matières carbonées, etc. On les mélange avec du calcaire. Par suite de la teneur des schistes en matières carbonées, et d'autres avantages, ce ciment peut être fabriqué avec une économie de 4 francs par tonne sur les autres ciments.

A Frangey (Yonne), on fait le mélange par voie sèche.

On réduit ces matières premières en poudre au moyen d'un broyeur, on les sèche, puis on les mélange en proportions convenables et on agglomère en briquettes ou en boulets, au moyen de presses. Ces briquettes ou boulets sont cuites dans des fours comme les ciments de Portland ordinaires.

Des essais faits, en 1892-1894, sur ces ciments de schistes ont donné les résultats suivants, au Havre :

Poids spécifique	3,10
— du litre non tassé	1,235 à 1,250
Prise à l'air : commencement après gâchage	1h,20' à 2 h.
— fin	4 h. à 6 h.
Prise sous l'eau	12 h. à 18 h.
Résistance à la traction par centimètre carré	
Après 48 heures d'immersion	21 à 26 kg.
— 6 jours —	34 à 37 kg.
— 27 — —	42 à 51 kg.
— 90 — —	53 à 59 kg.
Résistance à la compression par centimètre carré	
Après 48 heures d'immersion	166 à 190 kg.
— 6 jours —	302 à 410 kg.
— 27 — —	348 à 458 kg.
— 90 — —	360 à 498 kg.
Analyse chimique. Sable siliceux séparable par lévigation	0,10 à 0,40
Silice combinée	23,50 à 24,20
Alumine	7,30 à 9,10
Peroxyde de fer	2,90 à 4,00
Chaux	60,20 à 63,90
Magnésie	0,60 à 0,80
Acide sulfurique	0,40 à 0,50
Perte au feu	0,60 à 2,20

Mortiers. — *Mortiers de chaux et sable.* — Le sable emprisonné dans la chaux en forme l'ossature. La cristallisation de la chaux est souvent accompagnée d'une contraction, qui est diminuée par la présence du sable, et même annulée s'il n'y a pas de chaux libre, c'est-à-dire si tous les grains de sable sont entourés d'une couche infiniment mince de chaux. L'humidité ne doit pas pénétrer dans les intervalles laissés par la contraction de la chaux, parce que la gelée peut survenir et désagréger le mortier.

Mortier de chaux grasse. — Le mélange de pâte de chaux grasse et de sable se dessèche à l'air, et la cristallisation de la chaux englobant chaque grain de sable commence; c'est la *prise* du mortier. L'acide carbonique agit sur la chaux, la transforme de nouveau en carbonate de chaux, et le mortier acquiert de proche en proche sa dureté maxima : c'est le *durcissement.*

Mortiers de chaux hydraulique. — Les calcaires siliceux donnent après la cuisson des mélanges définis de chaux vive et de silicate de chaux :

$$3CaO,SiO^2CaO.$$

Les calcaires argileux donnent, après la cuisson, un mélange de chaux vive, de silicate de chaux et d'aluminate de chaux :

$$3CaO,SiO^2CaO,Al^2O^33CaO.$$

L'adjonction de l'eau pour faire la pâte et ensuite le mortier met ces chaux hydrauliques dans un état cristallisable. La pâte prise avant durcissement est, dans le cas des chaux siliceuses,

$$nCaOHO + SiO^23CaO6HO,$$

et, dans le cas des chaux argileuses,

$$nCaOHO + SiO^23CaO6HO + 3Al^2O^33CaO6HO.$$

Toutes ces cristallisations étant concordantes, si la composition de la chaux est bonne, la prise se fera régulièrement, et dans le durcissement ultérieur la carbonatation de la chaux vive suivra son cours; mais, si l'on a des chaux dont la transformation par la cuisson soit incomplète, la cristallisation n'étant plus concordante, il y aura d'abord prise par suite de la cristallisation de l'hydrate, puis fendillement par suite de la cristallisation ultérieure du silicate non défini. Le même mauvais effet s'obtient avec des chaux contenant du gypse, des silicates de magnésie ; les cristallisations ne sont pas concordantes. La prise des mortiers de chaux hydraulique est donc due au parallélisme qui doit exister dans la cristallisation de la chaux hydratée (CaOHO) du silicate de chaux et de l'aluminate de chaux. Le durcissement est dû à l'évaporation de l'excès d'eau et surtout à la carbonisation ultérieure de la chaux vive non combinée et qui est en proportion importante, d'après Vicat.

Mortiers de ciment. — La prise des ciments est due à l'absorption de l'eau pour la formation des cristaux d'hydrate de chaux, et à

la cristallisation du silicate et de l'aluminate de chaux avec 6 équivalents d'eau.

Les mortiers de chaux hydrauliques contiennent, après la prise, de l'hydrate de chaux cristallisé et du silicate de chaux à 6 équivalents d'eau, et, dans le cas de chaux argileuses, c'est de l'hydrate de chaux cristallisé, mélangé de silicate de chaux à 6 équivalents d'eau et d'aluminate de chaux.

Dans les ciments à prise rapide, il y a absorption de l'excès d'eau mélangée au ciment par l'argile desséchée fortement et qui n'est pas combinée ; car, dans les ciments, il y a toujours de l'argile libre, et plus dans les ciments légers que dans les ciments lourds. Après cette absorption, il y a cristallisation rapide, confuse, à cristaux très petits.

Les ciments qui contiennent de la magnésie ou de l'anhydride ont des prises irrégulières et donnent lieu à des fendillements, gonflements, par suite de la cristallisation après coup des silicates mélangés.

Dans les ciments à prise lente, par suite ou de l'absence d'argile non combinée ou de sa petite quantité, la cristallisation est plus lente, et le durcissement est meilleur, par suite de la formation de cristaux plus gros et mieux définis.

La prise des chaux et ciments est une cristallisation de l'hydrate de chaux et ensuite des silicates et aluminates de chaux. Cette cristallisation est d'autant plus énergique qu'on élimine la plus grande partie d'eau en excès dans les mortiers, et que le mélange de la chaux au sable est plus intime. Il y a donc lieu de faire le mortier avec le moins d'eau possible.

Les mortiers qui font prise rejettent au dehors une certaine quantité d'eau, car la cristallisation n'en prend qu'un certain nombre d'équivalents. Le durcissement ultérieur est dû à la dureté propre des cristaux formés et à la lenteur de leur formation. L'effet est d'autant plus intense que la chaux est plus divisée; dans ce cas elle absorbe rapidement l'acide carbonique; la carbonatation bouche les pores du mortier et augmente sa densité.

Causes de décomposition des mortiers. — Les calcaires peuvent contenir des dolomies, des pyrites, des sables, des oxydes de fer. Ceux qui contiennent des dolomies donnent des silicates de magnésie qui cristallisent après coup; c'est là une cause de décomposition. Le plâtre durcit avant ou après la chaux et provoque la décomposition des mortiers. La décomposition des ciments légers vient, par suite, de trop d'argile libre.

L'argile libre que peuvent contenir les ciments légers se dessèche à la cuisson et devient avide d'eau; l'enduit posé, rien n'apparaît pendant un an; la seconde année, les fentes se montrent et s'accroissent, surtout après l'hiver, et, après 3 ou 4 ans, les enduits peuvent être à remplacer. Cela provient de ce

que l'argile absorbe de l'eau pendant l'hiver, puis la rend pendant l'été, et ainsi de suite. Quand l'eau peut s'introduire par capillarité, la gelée venant ensuite détruit tout; on ne doit donc pas employer les ciments légers dans les lieux exposés aux alternatives de sécheresse et d'humidité.

Le mélange des ciments est toujours mauvais; les durcissements et cristallisations ne concordent plus.

On a souvent pris des scories pour remplacer le sable dans les mortiers. Les laitiers de hauts-fourneaux, s'ils ne contiennent pas de sulfures, agissent comme des pouzzolanes; mais, s'ils contiennent des sulfures, il y a souvent formation de sulfate de chaux et, par suite, désagrégation. Les cendres de houille agissent comme absorbant l'excès d'eau et comme contenant des silicates de potasse et de soude qui se décomposent pour former des silicates de chaux.

En mer, où très peu de mortiers résistent, l'eau souvent renouvelée dissout l'hydrate de chaux non cristallisé encore; de ce fait, dislocation et entraînement du mortier.

Quand la chaux hydratée et non encore carbonatée est enlevée, l'aluminate et le silicate de chaux restent seuls mélangés en présence d'une eau avec de l'acide carbonique, du chlorure de sodium et des sels de magnésie. L'aluminate de chaux donne de l'aluminate de magnésie, et la chaux est entraînée; l'acide carbonique à son tour attaque le silicate de chaux et forme du carbonate de chaux naissant qui se dissout à mesure dans la grande masse d'eau toujours renouvelée; enfin il reste en dépôt de la silice en gelée.

Si le mortier s'est carbonaté, et que la chaux soit plus siliceuse qu'alumineuse, comme les premiers produits qui se décomposent sont les aluminates, le mortier n'est plus perméable, et il n'y a plus de décomposition. Aussi les chaux siliceuses résistent-elles plus que les autres à l'eau de mer. La chaux du Theil contient 26 0/0 de chaux libre, se carbonate immédiatement à l'eau de mer et forme une cuirasse.

Eau employée pour éteindre les chaux et pour fabriquer les mortiers. — L'eau de rivière doit être préférée à celles qui filtrent dans les terres, parce que celles-ci tiennent en dissolution différents sels. A défaut, il faut employer l'eau de source, non minérale. Les eaux séléniteuses, c'est-à-dire contenant du sulfate de chaux en dissolution, sont mauvaises pour les mortiers, dont elles ralentissent ou empêchent la solidification. On atténue les mauvais effets de la crudité des eaux de puits en les laissant séjourner à l'air.

Les eaux croupissantes des marais et celles qui coulent dans les rues doivent être bannies.

Avec l'emploi de l'eau de mer, le mortier éprouve un retard

dans son durcissement, et sa dessiccation est plus lente; il produit, à la surface des maçonneries, des efflorescences salines qui doivent en faire supprimer l'emploi dans les maisons d'habitation, mais qui sont sans importance pour des travaux maritimes, tels que murs de quais.

L'emploi de l'eau de mer pour l'extinction diminue le foisonnement de la chaux; 1 mètre cube de chaux grasse d'une fabrique de Béziers (Hérault), éteinte par fusion, donnait 2 mètres cubes de pâte quand on employait de l'eau douce, et $1^{mc},50$ au plus quand on faisait usage d'eau de la Méditerranée.

La réduction en pâte de 1 mètre cube de chaux grasse absorbe 880 kilogr. d'eau de mer, contenant $6^{kg},132$ de sulfate de magnésie, ou $3^{kg},954$ d'acide sulfurique pouvant engendrer $6^{kg},72$ de sulfate de chaux. Si à cette dernière quantité on ajoute moitié en sus pour la quantité d'eau exigée pour gâcher le mortier, on arrive à $10^{kg},08$ de sulfate de chaux. Cet excès de chaux introduite par l'eau de mer dans les mortiers paraît être le seul inconvénient de l'emploi de cette eau.

Sables et arènes. — Les sables employés à la fabrication des mortiers doivent être non terreux et dépourvus de matières animales, lesquelles formeraient, avec la chaux, un savon soluble qui retarderait la solidification des mortiers; ils doivent être rudes au toucher, et crier lorsqu'on les serre dans la main.

On reconnaît si les sables sont bien propres, en les remuant dans de l'eau ; si celle-ci reste limpide, c'est que le sable est pur et bon ; si elle devient bourbeuse, c'est que le sable est terreux.

Les sables employés à la fabrication des mortiers sont :

1° Le sable calcaire, qui est formé de particules calcaires mélangées de grains de quartz ;

2° Le sable quartzeux, qui ne contient que des particules de quartz (silice) ;

3° Le sable micacé, qui est formé de débris de granit contenant de la silice et de l'alumine ;

4° La pouzzolane (voir p. 101) ;

5° Les *arènes*, ou sables vierges, qui sont composées de sables quartzeux à grains inégaux entremêlés d'argile brune ou jaune orangé, en proportion de 1/4 aux 3/4 du volume total. Une des meilleures arènes s'extrait de Saint-Astier (Dordogne); la composition de sa gangue argileuse est :

Quartz ou sable.....	4,13	Peroxyde de fer.....	12,00
Silice	38,54	Carbonate de chaux..	8,10
Alumine.....	20,00	Eau.....	17,00

Poids du sable par mètre cube

Sable fin et sec.....	1.400 à 1.430 kil.
Sable fin et humide	1.900 kil.
Sable argileux.....	1.700 à 1.800 kil.
Sable de rivière humide	1.770 à 1.880 kil.

Le sable de rivière vaut 6 fr. 50 à 7 fr. 50 le mètre cube; les droits d'octroi, à Paris, sont de 1 fr. 80 le mètre cube.

Les sables sont colorés, par des oxydes métalliques, en blanc, gris, jaune, rouge, vert, etc.

Les molécules de chaux grasse ayant entre elles plus de cohésion qu'elles n'ont d'adhérence avec le sable, il en résulte que le sable qu'on ajoute à cette chaux devrait diminuer la dureté que seule elle est susceptible d'acquérir; mais le sable facilite la pénétration de l'acide carbonique et, par suite, le durcissement du mortier, tout en diminuant la quantité de chaux employée.

Les arènes, et même l'argile crue, mêlées à la chaux grasse dans les proportions de 1 partie de chaux pour 4 d'arènes ou d'argile, donnent une pâte légèrement hydraulique; ainsi, en peu de jours, le mélange acquiert la consistance d'une pâte ferme, insoluble, mais qui ne durcit pas.

Dans les pays volcaniques on trouve une pouzzolane naturelle très énergique. Sa composition comprend les mêmes éléments que la pouzzolane artificielle. Dans l'Aisne on trouve des grès noirâtres, très friables et d'un aspect terreux, qui jouissent, avec la chaux, des propriétés de la pouzzolane.

On préfère les sables de rivière à ceux de carrières. Les sables anguleux exercent une action favorable à la cohésion des mortiers; les sables à grains ronds et polis ne possèdent pas au même degré cette propriété.

Voici l'ordre dans lequel on peut classer les sables éminemment siliceux, quant à leur convenance, pour différentes chaux dont les mortiers doivent être exposés à l'air.

Pour les chaux éminemment hydrauliques : 1° le sable fin; 2° le sable à grains inégaux, provenant du mélange soit du gros sable avec le fin, soit de celui-ci avec le gravier; 3° le gros sable.

Pour les chaux communes grasses et très grasses : 1° le gros sable; 2° les sables mêlés; 3° le sable fin.

Un sable est considéré comme *fin*, lorsque ses grains n'ont pas plus de 1 millimètre de diamètre, et comme *gros* lorsque ce diamètre s'élève de 1 à 3 millimètres; au delà, c'est du gravier.

Les gros sables, à grains inégaux, doivent être préférés aux sables fins pour les mortiers de chaux grasses; pour les mortiers de chaux hydrauliques, les sables fins, pourvu qu'ils soient en grains palpables durs et nets, doivent être préférés aux gros sables. La cohésion finale du mortier hydraulique à sable moyen étant représentée par 100, elle descend à 70 par l'emploi du gros sable de la Seine, et à 50 par l'emploi du menu gravier.

Sable fabriqué mécaniquement. — Lorsque le sable fait défaut dans une région, on peut fabriquer du sable artificiel par le broyage des pierres. Le broyeur Loizeau fabrique le mètre cube

de sable pour 6 fr. 64 et peut fournir 10 mètres cubes par jour.

La combinaison du concasseur Carr et du broyeur Blake donne le mètre cube de sable pour 6 fr. 89 et peut fabriquer 25 mètres cubes par jour.

Mortier de terre. — Avec ce mortier, fait d'une terre aussi argileuse que possible, exploitée à proximité des travaux, on hourde, dans certaines campagnes, les maçonneries ordinaires en moellons ou en briques.

La terre argileuse s'extrait à l'aide de la pioche. Pour en fabriquer le mortier, on en étale une certaine quantité sur une aire convenablement préparée; dessus, on jette de l'eau pour la détremper, et on la réduit en une pâte plus ou moins ferme, en la manipulant avec la pelle et la pioche, ou mieux avec le rabot en fer (*fig.* 32), quelquefois remplacé par un morceau de bois de 0m,20 de long sur 0m,10 de large, arrondi et aminci, et percé au milieu d'un trou pour y fixer le manche.

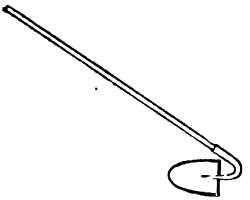


Fig. 32.

Le rabot en bois pénètre difficilement dans la terre, et pulvérise mal les mottes; celui en fer est préférable.

Pour que le mortier de terre ne se ramollisse pas, on garantit de la pluie et de l'humidité les maçonneries qui en sont hourdées, en les recouvrant, lorsque le mortier est sec et a perdu son humidité, d'un enduit, soit en mortier de chaux, soit en plâtre, qui puisse résister aux intempéries de l'air. Ce genre de maçonnerie est employé pour les maisons rurales et les murs de clôture dans les pays où l'on a des matériaux bien gisants, et offrant par eux-mêmes une certaine stabilité lorsqu'on les range les uns sur les autres.

On fait aussi du mortier avec une terre franche composée d'argile et d'une forte proportion de sable; on l'emploie à la construction des maçonneries de briques qui doivent être soumises à l'action du feu, comme celles des fourneaux de machines à vapeur.

Mortier de chaux et sable, et de chaux, sable et pouzzolane. — Ces mortiers sont un mélange de chaux et de sable, ou de ces deux corps avec la pouzzolane.

Pour obtenir un mortier plein, les proportions varient de 1,5 à 4 parties de sable pour 1 de chaux en pâte. Pour des ouvrages où l'imperméabilité est indispensable, *le volume de chaux ne doit jamais être moindre que celui des vides* laissés entre les grains de sable, et, quand on n'emploie que ce volume de chaux, le cube du mortier est à peu près égal à celui du sable employé, excepté

dans le cas où les particules de chaux seraient assez volumineuses pour s'interposer entre les grains de sable et en empêcher le contact.

Pour déterminer le volume des vides existant entre les grains de sable, on remplit de ce sable desséché un vase d'une capacité connue, et l'on y verse une quantité d'eau nécessaire pour qu'elle vienne effleurer le dessus du sable : le volume de l'eau versée est égal à celui des vides. Pour des sables de rivière dont la grosseur variait d'un tiers de millimètre à 1 millimètre et demi, le volume des vides variait de $0^{mc},31$ à $0^{mc},38$ par mètre cube de sable légèrement humide. Si l'on tassait et comprimait fortement le sable, l'eau sortait à la surface, et la quantité qui remplissait les vides du sable n'était plus que les 0,18 ou 0,22 du volume primitif de celui-ci.

Proportions pour les sables mêlés *(d'après Raucourt)*

COMPOSITIONS USUELLES			VOLUME de sable	VOLUME de chaux ou ciment	OBSERVATIONS
Béton ou mortier mêlé de cailloux	Cailloux.....	20	27	6 + (1)	(1) Plus une addition de chaux égale à la moitié de l'augmentation du volume du mélange. Avec les sables fins, si le volume du mélange augmente, on ajoute un volume de chaux égal à celui de l'augmentation.
	Gros sable....	1 } 7			
	Sable moyen..	2			
	Sable fin.	4			
Mortier de gravier	Gravier.....	20	26	6 + (1)	
	Sable moyen..	2			
	Sable fin.....	4			
Mortier de gros sable	Gros sable....	20	25	7	
	Sable fin.....	5			
Mortier de sable moyen	Sable moyen..	20	25	7	
	Sable fin.....	5			

Pour les débris de pierres ou cailloux de $0^m,027$ à $0^m,04$ de diamètre, tels que ceux qu'on mêle au mortier pour la fabrication du béton, il faut, pour un volume de pierre, un demi-volume d'eau et plus, à quelques variations près, pour remplir les vides; pour des sables ou graviers de $0^m,011$ à $0^m,014$ de diamètre, il faut un demi-volume d'eau; pour les gros sables de $0^m,002$ à $0^m,0045$ de diamètre, 5/12; pour les sables moyens, de $0^m,001$ de diamètre, 2/5 de volume; pour les sables fins, de $0^m,00023$ de diamètre, 1/3 de volume, et pour les sablons et les terres, 2/7 de volume.

Pour des massifs de maçonnerie qui ne doivent être exposés à une action destructive ou à une charge d'eau considérable qu'à une époque éloignée, on peut faire usage d'un mortier non très

hydraulique, qu'on obtient avec de la chaux hydraulique faible et du sable, ou avec de la chaux énergique mélangée avec de la chaux grasse et du sable, ou encore avec de la chaux grasse et du ciment ordinaire. Si, au contraire, les mortiers peuvent être soumis à des causes de dégradation presque au moment de leur emploi, ils doivent être très énergiques, et alors ils se font avec de la chaux très hydraulique et du sable, ou avec de la chaux grasse ou faiblement hydraulique, du sable et de la pouzzolane ou du ciment romain.

Pour les mortiers en chaux grasse, Vicat conseille les gros sables, à grains non arrondis, rudes au toucher, et 190 à 240 de sable, en volume, pour 100 de chaux en pâte. L'extinction sèche de la chaux est préférable à l'extinction ordinaire; la force du mortier est de près des 2/3 plus forte, mais il entre plus de chaux, quoique le volume de la pâte soit le même.

Pour les mortiers en poudre, il faut 3 volumes de chaux en poudre, contre 5 de sable.

Pour les mortiers de chaux hydraulique, Vicat conseille un broyage avec le pilon, le rabot ou le manège, avec le moins d'eau possible, de 180 de sable pour 100 de chaux. Pour les mortiers destinés à l'immersion, il faut assurer la première liaison par un surcroît de 1/6 à 1/5 de chaux, en sus de la proportion moyenne, et pilonner le mortier. Pour des enduits et des crépissages destinés à braver les intempéries, on force la dose du sable. Pour le mortier hydraulique, le sable doit avoir un peu moins de 1 millimètre d'épaisseur. Les sables de la Seine sont trop gros; ceux de la Garonne, de la Dordogne, de l'Allier et de la Loire sont satisfaisants. Les chaux hydrauliques gagnent à être éteintes par le procédé ordinaire; la cohésion s'accroît de 1/5 pour le cas d'une immersion constante. Le mortier hydraulique doit être gâché à couvert quand la saison est pluvieuse, ce qui suppose le sable mouillé; la chaux se compose alors de 1/2 ou 1/3 de chaux en pâte, et le reste en chaux éteinte en poudre. Par un temps sec et chaud, il devient indispensable d'ajouter de l'eau, mais le mortier doit quand même bien tenir sur la truelle.

Par l'emploi d'un mortier noyé, ou introduit entre les pierres sous forme de coulis, il y a 50 ou 30 0/0 à perdre sur la qualité d'une maçonnerie, selon que la maçonnerie est exposée à l'air ou constamment immergée. Si les matériaux sont absorbants, comme la brique, on doit les arroser jusqu'au moment de leur emploi; le mortier doit être sec et les matériaux mouillés.

Addition de sucre au mortier. — On ajoute, dans l'Inde, du jus de la canne à sucre au mortier de chaux, surtout pour les murs destinés à être inébranlables. La liaison entre les pierres et le mortier sucré devient telle qu'ils ne forment plus qu'un seul bloc homogène.

Composition de 1 mètre cube de mortiers ayant donné de bons résultats

CHAUX	VOLUME de chaux	de sable	de ciment de tuileaux	de pouzzolane	OBSERVATIONS
	éteinte par fusion m. cub.	de rivière m. cub.	m. cub.	m. cub.	
Grasse (non hydraulique).	0,370	0,950	»	»	Murs de clôture, fondations de bâtiments.
Grasse (un peu hydraul.).	0,340	»	0,820	»	Pavage des cours.
Grasse —	0,250	0,940	»	0,200	Réservoirs, etc.
Hydraulique (très énerg.).	0,360	1,000	»	0,040	Travaux dans l'eau.
Hydraul. (énergie ordin.).	0,333	1,020	»	»	Service des eaux et égouts de la ville de Paris, pour les constructions hydrauliques [1].
— (très énergique).	0,400	1,00			
— (énergie ordin.).	0,370	0,950	»	»	Service de la navigation et des ponts de Paris.
		de plaine			
— —	0,380	1,020	»	»	Maçonnerie du fort de Charenton.
	par immer.				
— —	0,440	1,000	»	»	Pour enduit *id.*
— (très maigre)...	0,100	1,000	»	»	Les 0mc,100 de chaux sont amenés au volume de lait de chaux de 0mc,340 [2].
				de Bessan (Hérault)	
	par fusion				
Peu hydraulique (mortier énergique).....	0,450	0,450	»	0,450	Maçonnerie du pont-canal de l'Orb, à Béziers.
	par immer.				
Hydraulique (mortier très énergique).....	0,480	1,00	»	»	(Chaux du Theil) Travaux maritimes des ports de Cette, de Marseille, de Toulon, d'Alger, etc.
	en pâte				
Mortier de chaux hydraulique énergique.....	0,550	1,00	»	»	Proportion moyenne, indiquée par Vicat, pour les bons mortiers hydrauliques destinés aux maçonneries hors de l'eau.
Chaux hydraulique (mortier très énergique)....	0,65	1,00	»	»	Proportion moyenne indiquée par Vicat, pour les bons mortiers hydrauliques destinés à être immergés sous une eau profonde.

[1] Les maçonneries des réservoirs, recevant les eaux du puits de Grenelle, situés place de l'Estrapade, sont hourdées avec le premier de ces mortiers.

[2] Ce mortier est employé avec avantage, sur une épaisseur de 0m,30 à 0m,40, dans le fond d'une fondation, sur un sol douteux. Le réservoir d'eau situé rue des Amandiers, à Paris, repose sur une couche de 0m,50 de ce mortier, qui finit par prendre beaucoup de consistance.

Fabrication du mortier. — Les proportions de chaux et de sable étant déterminées, on procède à la fabrication du mortier, qui comprend trois opérations distinctes :

1° *L'extinction de la chaux.* — Nous avons examiné précédemment (p. 98) les différentes manières de l'effectuer.

2° *Le dosage des matières.* — Opération qui consiste à mesurer et approcher les quantités de chaux et de sable qui doivent entrer dans le mortier; ce qui se fait à l'aide de brouettes fermées sur le devant par une planche, et ayant une capacité déterminée de 5 à 8 centièmes de mètre cube (50 à 80 litres).

3° *La manipulation ou mélange des matières*, que l'on effectue à bras d'hommes dans les petits chantiers, et mécaniquement pour les grands travaux.

Si les mortiers de chaux grasse ont tout à gagner à être corroyés à plusieurs reprises, c'est-à-dire à être fabriqués à l'avance et ramollis ensuite au fur et à mesure de leur emploi par une addition d'eau, ce qui leur fait absorber la plus grande dose possible d'acide carbonique, il n'en est pas de même des mortiers de chaux hydraulique, qui ne doivent, dans aucun cas, être délavés et ramollis par une addition d'eau, quand ils ont éprouvé un commencement de prise.

Les mortiers doivent être employés quelques heures au plus tard après leur fabrication.

Manipulation à bras. — Supposons qu'on ait à faire du 5° mortier du tableau précédent. Pour cela, sur une aire en planches, afin que la terre ne se mélange pas au mortier, on étale à la pelle 3 brouettées de sable en forme de bassin circulaire; dans ce bassin on verse la quantité convenable de chaux en pâte, c'est-à-dire, dans le cas qui nous occupe, une brouettée d'un volume égal à celui de chacune des brouettées de sable. Cela fait, on procède au mélange du sable avec la chaux à l'aide de rabots en fer ou en bois semblables à ceux employés pour faire le mortier de terre; on pousse cet instrument en le tenant sur le plat, afin de comprimer les matières sur le plancher pour en écraser les mottes, et on le retire à soi en le mettant sur le tranchant pour soulever la matière et toujours amener un peu de sable du bassin sur la partie ramollie. Un manœuvre retrousse le tas avec une pelle, au fur et à mesure que d'autres l'étalent avec les rabots, et, quand les matières sont bien mélangées, ce même garçon relève une dernière fois le tas, dans lequel les autres garçons viennent puiser le mortier pour le porter à leurs compagnons.

Il arrive quelquefois, surtout par un temps sec et chaud, que la chaux est trop raffermie et le sable trop sec pour permettre un mélange facile. Dans ce cas on ramollit la chaux en la battant avec des pilons, ou en jetant dessus une certaine quantité d'eau dans laquelle on a délayé un peu de chaux.

Si la chaux est en poudre, on étend sur l'aire une couche de $0^m,10$ de cette poudre et on y ajoute 30 à 40 litres d'eau par

hectolitre de chaux ; on brasse le tout avec des rabots, des pilons et des pelles jusqu'à ce que la pâte soit bien homogène. Avec la chaux en poudre, on opère souvent à sec le mélange de chaux et de sable qu'on arrose ensuite.

Manipulation mécanique. — Elle s'opère à l'aide d'un *manège* faisant tourner 1, 2 ou 3 roues, semblables à celles des voitures, sur le fond d'une auge circulaire dans laquelle on place les matières à mélanger. Le diamètre de ces roues varie de $1^m,70$ à $1^m,90$, et leur largeur de jante de $0^m,10$ à $0^m,15$. L'auge a son fond dallé en matériaux durs, et garni d'une vanne pour donner à volonté écoulement au mortier fabriqué; sa section transversale est un trapèze ayant $0^m,65$ pour base inférieure et $0^m,75$ pour base supérieure; la distance du milieu de cette section transversale à l'axe du manège est de 2 mètres. L'une des roues tourne contre le bord extérieur de l'auge, et l'autre contre le bord intérieur. Le système mobile est entraîné par une pièce de bois horizontale formant le bras du manège, et il tourne autour d'un goujon vertical en fer, fixé à la partie supérieure d'un arbre en bois scellé fortement en terre au moyen d'un fort massif de maçonnerie. Un appareil composé de deux lames de fer en forme de soc de charrue est entraîné par cette pièce horizontale, et il est supporté par deux petites roues de $0^m,30$ de diamètre, qui se meuvent sur deux petits rails en fer fixés à $0^m,10$ des bords de l'auge. Dans son mouvement, cet appareil détache les matières adhérentes aux parois et au fond de l'auge, et, en les labourant et rejetant les unes sur les autres, il facilite leur mélange. Derrière cet appareil est adapté un rabot qui a la forme de la section transversale de l'auge; on le tient suspendu hors de l'auge au moyen d'un crochet pendant la manipulation des matières, et, en le descendant dans l'auge quand le mortier est fabriqué, il fait tomber celui-ci en quelques tours de manège, par la vanne réservée dans le fond de l'auge. Un plan incliné amène le mortier sous une espèce de hangar, dont le sol est à environ $2^m,40$ au-dessous de celui du manège, et qui est couvert par une partie de la chaussée du manège, partie que l'on supporte par des pièces de bois. Ordinairement, le sol du manège est élevé à l'aide de remblais, de manière à mettre le sol du hangar au niveau du sol environnant. Les garçons viennent charger le mortier sous le hangar.

Un manège à 1 ou 2 roues est manœuvré par un cheval qui travaille 5 heures par jour, de sorte qu'il faut 2 chevaux pour faire la journée de 10 heures. Le chemin suivi par le cheval a 4 mètres de rayon.

Pour fabriquer le mortier avec ce manège, on fait le dosage des matières avec des brouettes; on verse d'abord dans l'auge annulaire les brouettes contenant la chaux qui doit entrer dans une

bassinée, en ayant soin de ne pas accumuler celle-ci en un seul point; puis on fait faire quelques tours aux roues pour la ramollir et la répartir dans toute l'étendue de l'auge; alors, sans arrêter le cheval, et au fur et à mesure que le mélange s'opère, on verse, sur toute l'étendue de l'auge, les brouettes de sable nécessaires. Pendant que le mélange s'effectue, on remplit les brouettes pour une nouvelle bassinée, et on les amène aux abords du manège. Il faut à peu près 22 minutes pour faire une bassinée de $0^{mc},90$ de mortier; ce qui fait $2^{mc},46$ de mortier par heure, ou $24^{mc},60$ par journée de 10 heures.

On fabrique mécaniquement le mortier à l'aide de *tonneaux* Bernard en bois de chêne ou en tôle d'environ $1^{m},50$ de hauteur et $1^{m},10$ de diamètre, légèrement évasés par le haut, fermés par le bas, et portant latéralement, à leur partie inférieure, une ouverture qui se ferme à volonté avec une porte à coulisse, et qui sert à l'écoulement du mortier. Aux parois intérieures du tonneau, à différentes hauteurs, sont fixés des croisillons en fonte, tranchants et armés de dents en fer. Un arbre vertical, placé dans l'axe du tonneau, porte des croisillons armés de dents qui se croisent avec les premières.

M. Roger, architecte, a apporté deux modifications aux tonneaux Bernard : la première consiste en ce que le mortier s'écoule, non seulement par une porte latérale, mais aussi par des ouvertures pratiquées dans le fond du tonneau, ce qui facilite la vidange; la seconde, en ce que l'arbre vertical porte des disques en fonte qui écrasent le mortier contre le fond du tonneau.

Au simple mélange des tonneaux Bernard, ceux de M. Roger ajoutent le broiement; aussi ces derniers fournissent-ils des mortiers supérieurs, surtout lorsque le sable est argileux.

On construit des tonneaux Roger de toutes grandeurs, manœuvrés par 1, 2 ou par 4 hommes ou 1 ou 2 chevaux.

Une machine à vapeur peut mettre en mouvement plusieurs manèges à roues. Avec une locomobile de 4 chevaux, on peut manœuvrer 2 tonneaux broyeurs fabriquant par jour 30 mètres cubes de mortiers.

Fabrication du mortier de ciment de tuileaux ou de pouzzolane. — Quand on remplace, en totalité ou en partie, le sable par le ciment de tuileaux ou la pouzzolane pour obtenir des mortiers très énergiques, la fabrication soit à bras, soit mécanique, s'opère comme pour le sable seul.

Prix de revient de la fabrication de 1 mètre cube de mortier à Paris (*d'après A. Debauve*). — 1° *Au rabot.* — Un ouvrier fabrique 1 mètre cube de mortier par jour avec un rabot qui coûte 10 francs par an, achat et entretien compris; il faut un surveillant pour 10 hommes ; le prix de revient est donc :

1 journée de manœuvre	3 fr.	50
1/10 de journée de surveillant	0	50
Frais d'outils	0	02
TOTAL	4 fr.	02

2° *Au manège à roues.* — Un manège peut être établi pour 600 francs, compris les supports en maçonnerie; il donne un rendement de 24 mètres cubes de mortier pour une journée de 10 heures. La dépense s'évalue ainsi :

2 chevaux	12	»
1 conducteur	4	»
6 manœuvres à 3 francs	18	»
1 heure de chef d'atelier	0	60
Entretien des brouettes, des seaux, etc	0	30
Intérêt et amortissement de l'appareil	2	»
TOTAL	36 fr.	90

soit 1 fr. 50 par mètre cube de mortier.

3° *Au tonneau broyeur à bras.* — Production de 10 mètres cubes par jour. Un tonneau broyeur de $0^m,60$ de diamètre et $0^m,80$ de haut coûte 350 francs.

4 hommes à 3 fr. 50	14 fr.	»
1/10 de journée de surveillant	0	50
Intérêt et amortissement de la machine (20 0/0 pour 250 jours de travail)	0	28
TOTAL	14 fr.	78

soit 1 fr. 50 par mètre cube.

4° *Au tonneau broyeur à 1 cheval.* — Production de 20 mètres cubes par jour :

1 cheval	6 fr.	»
4 hommes	14	»
1/10 de journée de surveillant	0	50
Intérêt et amortissement	0	32
TOTAL	20 fr.	82

soit 1 fr. 05 le mètre cube.

5° *Au tonneau broyeur avec locomobile de 4 chevaux.* — Production : 50 mètres cubes par jour.

Location de la locomobile	5 fr.	»
Intérêt et amortissement du broyeur	0	70
Graissage, allumage et nettoyage de la locomobile	2	90
Mécanicien	6	»
6 manœuvres à 3 fr. 50	21	»
Charbon de terre, 125 kil. à 0 fr. 04	5	»
TOTAL	40 fr.	60

soit 0 fr. 80 le mètre cube.

6° *Au malaxeur Coignet.* — Le mélange des mortiers peut se faire au malaxeur. L'appareil Coignet faisant cette opération

peut produire, en 12 heures, 40 mètres cubes de pâte de béton aggloméré et 60 mètres cubes de mortier. La manœuvre de l'appareil demande 2 hommes. Il en faut 3 pour l'approche des matériaux et le remplissage des wagonnets.

Voici le prix de revient du mortier :

Main-d'œuvre.	4 hommes à 4 francs	16 fr. »
	1 — à 5 —	5 »
	TOTAL par 50 mètres cubes par jour	21 fr. »
	Soit par mètre cube	0 fr. 42
Force motrice.	1 chauffeur	6 fr. »
	200 kilogr. de charbon	5 »
	Huile, chiffons, graisse	3 »
	TOTAL pour 50 mètres cubes	14 fr. »
	Soit pour 1 mètre cube	0 fr. 28
Récapitulation.	Main-d'œuvre	0 fr. 42
	Force motrice	0 28
	Entretien des appareils	0 10
Soit, pour 1 mètre cube de mortier		0 fr. 80

Prix total des mortiers (main-d'œuvre, achat des matériaux, bénéfice de l'entrepreneur, etc.)

Mortier de chaux hydraulique, formé de 250 kilogr. de chaux et de 1 mètre cube de sable dragué	21 fr. » le m³
Mortier de chaux éminemment hydraulique du Teil formé de 350 kilogr. de chaux et de 1 mètre cube de sable dragué	25 fr. » le m³
Mortier de ciment de Vassy, formé de 382kr,500 de ciment et de 1 mètre cube de sable dragué	33 fr. » le m³
Mortier de ciment de Portland, formé de 450 kilogr. de ciment et de 1 mètre cube de sable dragué	37 fr. » le m³
Mortier de ciment de laitier, formé de 350 kilogr. de ciment et de 1 mètre cube de sable dragué	30 fr. 50 le m³

Le prix du mortier peut se déduire facilement du prix de la chaux et du sable rendus à pied d'œuvre et du dosage. Pour un mortier comprenant, par mètre cube, 350 kilogr. de chaux à 30 francs la tonne et 0m,95 de sable à 6 francs le mètre cube, le prix de revient du mortier sera :

350 kilogr. de chaux à 0 fr. 30	10 fr. 50
0m,95 de sable à 6 francs	5 70
Main-d'œuvre pour fabrication au tonneau à bras	1 50
TOTAL	17 fr. 70

Mortier de ciment romain. — Ce mortier est un mélange de ciment et de sable dans des proportions telles que, comme pour la chaux, le mortier soit plein, c'est-à-dire que les vides du sable soient entièrement remplis, quand le mortier est destiné à des ouvrages qui, à la solidité, doivent joindre une parfaite imper-

méabilité. Nous avons indiqué précédemment (p. 131) comment on peut déterminer ces vides, et ce qu'ils sont pour différents sables. Un mètre cube, ou 960 kilogr. de ciment sortant des barriques, ne donne que $0^{mc},830$ de pâte après le gâchage.

Il faut, quand on a un choix à faire entre tels ou tels ciments, les essayer avec la dose de sable qu'ils sont destinés à recevoir. Vicat rapporte en avoir vu dont la présence du sable réduisait la ténacité à $1^{kg},20$ par centimètre carré après 1 mois d'immersion, tandis que, chez leurs équivalents employés purs, le sable, dans les mêmes circonstances, laissait encore à l'agrégat 3 à 4 kilogr. de ténacité.

Composition du mètre cube de quelques mortiers de ciment romain

NUMEROS	PROPORTIONS EN VOLUME		VOLUME de SABLE	POIDS DE CIMENT DÉCHET COMPRIS	
	ciment	sable		sans tare	avec tare
			m. cube	kil.	kil.
1	1	0	0,00	1.204	1.336
2	3	1	0,35	928	1.030
3	2	1	0,46	843	936
4	3	2	0,55	771	856
5	1	1	0,70	651	723
6	2	3	0,84	530	588
7	1	2	0,98	451	480
8	1	2,5	1,00	390	423
9	1	3	1,00	300	325
10	1	3,5	1,00	258	280
11	1	4	1,00	235	255
12	1	4,5	1,00	205	220
13	1	5	1,00	185	200

Le mortier n° 1, c'est-à-dire celui de ciment pur, est employé à l'étanchement des sources et des fuites d'eau (extrême imperméabilité et solidification presque instantanée).

Les mortiers 2, 3, 4 et 5 sont employés pour les enduits de fosses, de citernes, de réservoirs, etc. (adhérence et imperméabilité).

Les mortiers 6, 7 et 8 sont ceux dont l'usage est le plus fréquent. On les emploie pour hourder les maçonneries de meulières, de briques, de moellons, etc. ; pour les rejointoiements, les chapes et les enduits de maçonneries neuves ou vieilles, pour la reprise des maçonneries en sous-œuvre et pour la restauration des vieux parements de pierre de taille dégradés par le temps, et pour tous ouvrages couverts ou exposés aux intempéries.

Les mortiers 9 et 10 sont employés pour murs, voûtes et massifs qui peuvent attendre le parfait durcissement avant d'être soumis à de fortes pressions, ou pour lesquels la condition de complète imperméabilité n'est pas indispensable, mais qui ont besoin de légèreté.

Les mortiers de ciment dans lesquels les proportions de ciment sont

moindres que pour celui n° 10 commencent à être maigres et à perdre graduellement leurs qualités d'adhérence et d'imperméabilité; cependant on peut encore les utiliser pour les travaux de remplissage et la construction des massifs. Le mortier n° 13 jouissant encore de la propriété d'un durcissement presque immédiat (2 heures sous l'eau), dans un grand nombre de cas il peut remplacer les mortiers de bonnes chaux hydrauliques.

La prise du ciment est d'autant plus lente et son adhérence d'autant plus faible que la proportion de sable est plus grande.

Le *sucre*, ajouté au ciment, augmente sa force; il retarde sa prise et favorise ainsi des réactions chimiques, mais il faut qu'il y en ait moins de 0,50 0/0.

Mortier en ciment de grappier Portland-Lafarge. — La chaux du Teil, fabriquée à Lafarge, sur le bord du Rhône, près Viviers (Ardèche), est une chaux éminemment hydraulique. Elle constitue le type des chaux siliceuses fournies par le *calcaire à criocères*.

C'est avec le résidu du blutage de cette chaux, — formé de concrétions calcaires dont les éléments ont la dimension de grains de sable, — résidu qui ne possède pas assez de chaux libre pour se réduire en poudre par l'extinction, mais qui contient en substance les éléments d'un excellent ciment à prise lente, que se fabrique le ciment de Lafarge, dit de *grappier*. On s'en sert pour tous travaux au même titre que le portland naturel de Boulogne; on l'emploie aussi dans la fabrication de matériaux artificiels.

Le mètre cube de chaux blutée et mise en sac, mais non tassée, pèse 720 kilogr. et produit $0^m,72$ de mortier en pâte.

Dans les mêmes conditions, le mètre cube de ciment Portland-Lafarge pèse 1.100 kilogr. et produit $0^m,75$ de mortier en pâte.

Pour produire un mortier étanche et ayant les conditions de solidité possible, il convient d'établir le dosage suivant les vides des sables employés. Connaissant le cube de ces vides, qui varie de $0^m,31$ à $0^m,38$ par mètre cube de sable, il suffit de le multiplier par la densité de la matière agglutinative adoptée, — $720^{kg},00$, s'il s'agit de la chaux, et $1.100^{kg},00$, s'il s'agit du ciment, — pour savoir combien il en faut pour faire 1 mètre cube de mortier, soit une moyenne de $0^m,350 \times 720$ kilogr. $= 252$ kilogr. de chaux, ou de $0^m,350 \times 1.100$ kilogr. $= 418$ kilogr. de ciment.

Pour les ouvrages exposés à l'air, le Génie militaire réduit parfois à 210 kilogr. le dosage en chaux, mais il convient, en général, de rester dans les indications du dosage théorique. Quant au ciment, sa force d'agrégation ou de résistance à l'arrachement étant très grande (20 kilogr. au moins par centimètre carré après 8 jours), on peut, pour des travaux ordinaires, l'employer en quantité moindre que celle indiquée précédemment. Ainsi, pour la fabrication des briques, on peut se contenter de 300 kilogr. Le dosage théorique est suffisant pour des voûtes monolithes. Pour les conduits d'eau forcée, au contraire, ou pour

des enduits bouchardés et ciselés, on dose moitié ciment et moitié sable.

La force de résistance à l'arrachement de la chaux pure est de plus de 3 kilogr. par centimètre carré après huit jours de prise.

Quel que soit le dosage adopté, le sable doit être très pur et mélangé à sec, le plus intimement possible, avec la chaux ou le ciment. Quand le mélange est fait, on y verse l'eau nécessaire au gâchage, tout en le broyant énergiquement, pour réduire autant que possible la quantité de cette eau. On peut compter sur 450 litres d'eau par mètre cube de sable pour un mortier à base de chaux, et seulement sur 350 à 450 pour un mortier à base de ciment ; le moins est le meilleur.

La fabrication des matériaux artificiels en ciment Portland-Lafarge se fait à Lafarge-du-Teil, à l'usine d'Hussein-Dey, près d'Alger, à Toulouse, à Perpignan, à Marseille, à Bône, etc.

Les principaux produits fabriqués sont : des briques, des angles de bâtiments, des pieds-droits, des corniches, des balustrades, des bordures de trottoir, des mangeoires, des bassins, des lavoirs, des tuyaux de toutes sortes, etc., des vases et des statues.

Pour tous ces produits le mortier se prépare en pâte pulvérulente.

Le sable doit être passé à travers un tamis à mailles de 6 à 8 millimètres d'écartement.

Les produits doivent être tenus à l'abri des ardeurs du soleil et arrosés une ou deux fois par semaine pendant le mois qui suit leur fabrication, si la saison est trop chaude ou s'ils sont exposés au soleil. Au sortir du moule, il faut les poser sur un sol très uni et les y laisser pendant deux jours. On les empile ensuite. Ils peuvent, en général, au bout d'un mois, s'expédier et même souvent s'employer.

Mortier bâtard. — On désigne ainsi les mortiers de chaux dans lesquels on a fait entrer une certaine quantité de ciment en poudre, pour leur donner plus de résistance et en hâter la solidification. On obtient des mortiers très hydrauliques en ajoutant à ceux faits avec de la chaux grasse de 1/10 à 1/15 de leur volume de ciment en poudre. Pour les maçonneries des fondations et des massifs du pont-viaduc construit sur l'Aude, à Coursan, on a ajouté à 1 mètre cube de mortier composé de $0^{mc},45$ de chaux grasse éteinte, en pâte, et de $0^{mc},95$ de sable de rivière :

1° Pour les bétons et les maçonneries faites en contre-bas de l'étiage, $0^{mc},172$ ou 183 kilogrammes de ciment Gariel en poudre ;

2° Pour les maçonneries de massifs faits au-dessus de l'étiage, $0^{mc},095$ ou 100 kilogrammes environ de ciment Gariel en poudre.

Pour les enduits faits avec le mortier bâtard, il faut ajouter le ciment en poudre au mortier ordinaire déjà fait et triturer le

tout dans l'auge, comme il va être indiqué pour les mortiers de ciment. Pour les maçonneries, on fabrique le mortier de chaux soit au rabot, soit au manège, en ayant soin de le faire un peu clair; puis on y ajoute le ciment en poudre, que l'on mélange à toute la masse avec le manège ou les rabots. Quand la dose de ciment dépasse le 1/10 du volume du mortier de chaux, le mélange au rabot doit être préféré.

Gâchage du ciment. — L'introduction du sable dans les ciments diminue, dans les premiers temps, la cohésion dont ces derniers, employés seuls, sont susceptibles, et cela, par le défaut d'adhérence du sable à la gangue et par le surcroît dans la quantité d'eau introduite. La cohésion de ces agrégats, mesurée à une époque quelconque après leur confection, suit toujours la raison inverse du degré de liquidité donné aux ciments dans l'action du gâchage. Tout ciment amené à la consistance de coulis clair n'atteint que la moitié de la force que lui aurait donnée une consistance pâteuse ordinaire; il reste d'ailleurs poreux, et son tissu est lâche et perméable.

On gâche le ciment, à l'aide d'une truelle mince en acier ou en fer, à long manche (*fig.* 33), dans une auge à fond rectangulaire

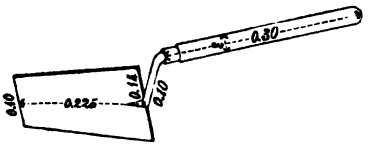


Fig. 33.

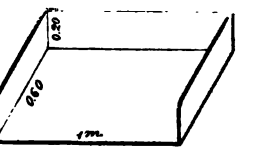


Fig. 34.

(*fig.* 34). L'ouvrier, à l'aide de sébiles en bois, mesure le sable et le ciment en poudre qui doivent faire une gâchée; le volume total de ces matières varie de 1 à 6 litres. Il verse les sébiles dans l'auge, et, à l'aide de la truelle, il mélange les matières à sec et en fait une digue sur le côté ouvert de l'auge. Il verse, derrière ce barrage, la quantité d'eau convenable, et, avec le bout de la truelle, il pousse par petites parties toute la digue sur l'eau, qui ne tarde pas à être absorbée; puis il agite avec la truelle pour en former un mélange qu'il pousse sur l'un des côtés de l'auge. Alors il fait passer la pâte par petites parties sous le plat de la truelle, en la comprimant avec force. Ayant fait passer la matière de l'autre côté de l'auge, où on la pousse en relevant les bords de la pâte sur le milieu, on recommence dans le sens opposé à faire passer le ciment sous le plat de la truelle. Avec les gâcheurs ordinaires, le ciment doit être repassé trois et même quatre fois.

Le gâchage du ciment doit se faire par le travail du poignet et non à force d'eau, dont le volume ne doit jamais excéder la

moitié de celui du ciment en poudre. Au premier tour, le mortier présente l'aspect d'une pâte ferme, qui se ramollit par la trituration; quand il est convenablement gâché, il est homogène; relevé en tas avec la truelle, il a un aspect luisant et légèrement huileux. Dans cet état, le gâcheur le verse dans un seau, et on le porte au poseur.

Pour l'exécution des grands travaux de maçonnerie, on emploie souvent des mortiers maigres en ciment; la grande proportion de sable ralentit la prise, mais l'on arrive à de bons résultats en faisant le mélange au rabot. On mélange d'abord les matières à sec, et l'on en forme une espèce de bassin circulaire dans lequel on verse la quantité d'eau, puis on opère la trituration comme il a été indiqué précédemment pour la manipulation des mortiers de chaux à bras d'hommes (p. 134).

On pourrait, en ralentissant la prise du ciment par une hydratation préalable non nuisible, gâcher le mortier de ciment au moyen de tonneaux broyeurs. Nul doute qu'on obtiendrait ainsi un mélange et une massivation qui ne le céderaient pas à ce qu'on obtient avec la vis horizontale Michel-Greveldinger.

Cette vis fournit des résultats parfaits pour le mélange du béton; mais, pour le gâchage du ciment, si elle donne de l'économie, elle emploie une grande quantité d'eau et opère le gâchage par la division des parties, et non par une trituration et une massivation qui les rapproche, condition indispensable à une bonne confection de mortiers hydrauliques.

L'appareil de Greveldinger exige que la chaux soit éteinte en poudre et s'emploie pour des mortiers de ciment à prise lente, parfois pour ceux à prise rapide, mais surtout pour fabriquer de grandes quantités de mortier. Il consiste dans une trémie ou entonnoir en bois ou en tôle dans laquelle on jette à la pelle le mélange, préparé à l'avance, de sable et de ciment ou de chaux éteinte en poudre. Un distributeur à axe vertical, qui se meut sur le fond horizontal de la trémie, fait d'une manière continue passer la matière par une ouverture latérale réglée par une vanne, d'où elle tombe à l'extrémité d'une auge horizontale en bois ou en tôle dans laquelle se meut une vis d'Archimède dont les 14 spires sont formées par une feuille de tôle. Au-dessus de la même extrémité de l'auge, est disposé un tube en fer percé de petits trous, et destiné à distribuer à la manière d'un arrosoir l'eau nécessaire à la fabrication du mortier. La vis, en tournant, oblige la matière à suivre ses spires, et l'amène à l'autre extrémité de l'auge, d'où elle tombe réduite en mortier.

Deux poulies, dont l'une est folle, sont montées sur l'axe de la vis, et servent, à l'aide d'une courroie, à lui transmettre le mouvement d'une machine locomobile de la force de 1/2 cheval environ. Un pignon conique, monté également sur l'axe de la vis,

engrène avec une petite roue conique d'un diamètre à peu près double, montée sur l'axe du distributeur, qui reçoit ainsi son mouvement.

La longueur de la vis est de $1^m,55$, et son diamètre, mesuré à l'extrémité des spires, est de $0^m,17$.

L'été (époque peu favorable à l'emploi du ciment, surtout s'il n'est pas à l'abri du soleil), les matériaux étant très secs, il faut un peu plus d'eau. Les petites gelées ne sont pas nuisibles à l'emploi du ciment, si le travail est à l'abri de la pluie. Quand l'eau est trop froide, la prise du ciment étant trop lente, on peut la faire tiédir.

L'application du ciment se fait avec la truelle par jets. On doit prescrire l'emploi de la taloche, et il ne faut lisser la surface du mortier que dans certains cas et très légèrement (enduits de réservoirs, etc.). Ce lissage ferme les pores à la surface et complète les soudures; mais il donne lieu à des gerçures quand la dessiccation est trop prompte. Cette opération doit se faire avant que le mortier ait commencé à s'échauffer et à durcir. Toutefois, lorsque le durcissement est complet, on peut, pour des restaurations de pierres de taille ou pour des enduits simulant la pierre, dresser les surfaces par un raclage au moyen de la truelle brettée, et même tailler le mortier au ciseau à la manière de la pierre d'appareil.

Dureté et cohésion finale des mortiers. — 1° *Mortiers de chaux grasse.* — Lorsque ces mortiers sont employés dans les massifs de fondation hors de l'eau, ce n'est qu'après 200 ou 300 ans qu'ils ont acquis une cohésion finale. Dans la construction des maisons et dans les parties élevées et à couvert, la cohésion finale de ces mortiers, c'est-à-dire la plus grande résistance à la traction qu'ils peuvent atteindre, varie de $1^{kg},25$ à $2^{kg},50$ par centimètre carré.

2° *Mortiers de chaux hydrauliques.* — Quand ces mortiers sont de bonne qualité, employés en massifs de fondation ou immergés dans l'eau douce, ou même dans l'eau de mer lorsqu'ils résistent bien à son action, ils arrivent à leur dureté maxima après 4 ans. Indépendamment de la dureté provenant de l'absorption de l'acide carbonique, la cohésion spéciale à ces mortiers progresse plus rapidement pendant les 6 premiers mois que pendant les 6 suivants. Pendant la 2e année, la dureté n'augmente guère que de 1/5 à 1/4 de celle déjà acquise ; au-delà de la 2e année, l'augmentation de dureté n'est plus sensible.

La cohésion maxima qu'acquièrent les mortiers de chaux hydrauliques, employés dans les maçonneries exposées à toutes les intempéries, varie dans les limites suivantes par centimètre carré :

Mortiers de chaux faiblement hydrauliques....	2 à 5 kilogr.
Mortiers de chaux hydrauliques ordinaires....	5 à 9 —
— de chaux éminemment hydrauliques .	9 à 15 —

Les mortiers de chaux grasse et de pouzzolane de bonne qualité, sans mélange de sable, atteignent, après 2 mois d'immersion en eau douce, la moitié de leur cohésion finale, laquelle a lieu du commencement de la 2e année à la fin de la 3e. Cette cohésion dépasse rarement 15 kilogr. par centimètre carré, et peut s'abaisser à 5 kilogr.

3° *Mortiers de ciment romain.* — Les bons ciments employés purs font prise sous l'eau en quelques minutes, et au plus en 2 heures; ils ont alors acquis à très peu près le 1/5 de leur dureté finale. La dureté est arrivée au 1/4 de la dureté maxima après le 3e jour, au 1/3 après le 1er mois, à la 1/2 après le 3e, aux 2/3 après le 6e, et aux 9/10 après la 1re année. De la 1re année à la moitié de la 2e, la progression de la dureté est très peu sensible; la dureté est finale après 12 ou 18 mois.

La ténacité par traction du mortier de ciment Gariel gâché pur, qui avait atteint 6kg,50 par centimètre carré après le 1er mois d'immersion en eau de mer, était arrivée à 14kg,20 après le 6e, à 17kg,70 après la 1re année, et à 20kg,30 après 18 mois. Des bétons, ayant une ténacité inférieure à 6 kilogr., ont résisté pendant un demi-siècle et plus à l'action des coups de mer les plus violents.

Mortiers à la soude. — La gelée interrompt généralement l'exécution des maçonneries. L'emploi de l'eau chaude rend possible la fabrication du mortier en tout temps; mais, une fois employé, le mortier frais, soumis à une basse température, se désagrège et perd définitivement la propriété de faire prise.

On peut remédier à cet inconvénient en mélangeant à l'eau des substances solubles qui abaissent son point de congélation.

M. Ch. Rabut a essayé, en 1885, l'alcool, le sel marin et, en 1891-1892, la soude du commerce, qui a permis d'exécuter des maçonneries avec mortiers de chaux et de ciment, par des froids de 10 à 15°.

M. Ch. Rabut a employé le carbonate de soude anhydre obtenu par le procédé Solway. On dissout la poudre dans une chaudière à 30°, à raison de 1 kilogr. de carbonate pour 5 litres d'eau. Cette dissolution est étendue d'un égal volume d'eau dans des tonneaux où les maçons puisent au fur et à mesure des besoins. Une chaudière de 100 litres suffit pour 10 maçons.

Le dosage final est ainsi de 1 kilogr. de carbonate par 10 litres d'eau, et l'emploi se fait à une température de 10 à 12°. Dans la confection du mortier, la proportion d'eau habituelle pour un sable et une chaux donnés doit être augmentée d'un quart. Le sable, gelé à la surface des tas, doit être pulvérisé avec soin; il est bon de munir les maçons de gants en caoutchouc.

L'augmentation de dépense due à l'emploi de la soude, par mètre cube de maçonnerie brute, avec mortier de chaux dosé dans la proportion ordinaire, peut s'évaluer ainsi :

Carbonate, 10 kilogr. à 0 fr. 20	2 fr.	»
Charbon 2 kilogr. 1/2 à 0 fr 04	0	10
Matériel	0	05
Main-d'œuvre, 1 heure de manœuvre à 0 fr. 35	0	35
TOTAL	2 fr.	50

Cette majoration est négligeable en regard de l'augmentation de frais généraux et autres inconvénients qu'entraîne l'interruption des travaux en hiver.

L'addition de soude accélère, en outre, la prise du mortier à toute température.

Essai des agglomérants et mortiers hydrauliques. — On trouvera précédemment les méthodes à employer pour faire les essais des ciments de Portland. Ces méthodes peuvent s'appliquer à tous les mortiers hydrauliques.

Les résistances ordinairement exigées sont les suivantes :

	FRANCE		ALLEMAGNE		AUTRICHE		RUSSIE		SUISSE	
	7 jours	28 jours	7 jours	28 jours	7 jours	28 jours	7 jours	28 jours	7 jours	28 jours
Ciment Portland pur	20	35	»	»	»	»	21 à 25	»	»	»
Ciment Portland mortier de sable	8	15	»	8	8	12	6	8	»	5
Ciment romain	»	»	»	»	2 1/2 à 3	4 à 6	»	»	»	10
Chaux hydraulique	»	»	»	»	»	»	»	»	»	8

Les machines d'effet à la rupture par extension sont assez coûteuses. On peut s'en passer.

« Il suffit, dit le prince Georges Lubomirski, de se procurer 2 étriers en fer, terminés à chacune de leurs extrémités par un crochet plat. Avec un tréteau, une caisse à sable et une balance romaine, on sera en mesure de faire toutes les épreuves sur les ciments.

« Voici comment on opère :

« On forme avec le ciment gâché pur et additionné de chaux une certaine quantité de briquettes d'essai que l'on immerge avec le moule dans un baquet plein d'eau, aussitôt après leur confection. Après 24 heures d'immersion, on retire les briquettes; les moules sont alors vivement enlevés et les briquettes nues replongées dans l'eau.

« Quarante-huit heures après la fabrication, les briquettes sont essayées à la rupture. A cet effet, on attache un des étriers en

fer sous la traverse du tréteau. On entaille latéralement au ciseau chaque briquette, de façon à lui former un cran de chaque côté.

« On engage alors la briquette dans les crochets de l'étrier suspendu au tréteau.

« Le deuxième étrier est également engagé dans les crans de la briquette, mais en sens opposé au premier, et sert à suspendre à la briquette la caisse vide que l'on remplit peu à peu de sable jusqu'au moment où l'on détermine la rupture de la briquette. On pèse alors la caisse au moyen de la romaine accrochée également au tréteau et l'on divise le poids trouvé par la surface de rupture de la briquette exprimée en centimètres, ce qui donne la résistance par centimètre carré. Pour éviter d'entailler les briquettes au ciseau, on peut faire fabriquer des moules présentant un étranglement convenable. En confectionnant avec un fer plat de 4 centimètres de largeur des moules présentant un étranglement réduisant la largeur de la briquette à 4 centimètres, ces moules permettront de faire des briquettes présentant une section médiane de 4 centimètres de côté, ce qui est une dimension commode pour les épreuves. »

Emploi des mortiers à la mer. — Les premières observations faites sur l'action de la mer sur les mortiers datent de 1842.

Les altérations coïncidant avec l'existence en plus grande abondance de sulfate de chaux, elles doivent être attribuées à ce sel, formé par l'action, sur la chaux, du sulfate de magnésie de l'eau de mer.

D'après Minard, le seul moyen de connaître l'action de la mer sur un nouveau mortier, est de l'immerger en mer libre dans les parages où il doit être employé.

En dehors de l'affinité chimique des matériaux, des traces d'altération se produisent dans certaines maçonneries pour lesquelles on a fait usage de sables, de cailloux ou de moellons calcaires, susceptibles d'une dilatation ou d'une contraction variable selon la température, tandis qu'aucun indice d'altération ne se remarque dans des maçonneries placées dans les mêmes conditions, hourdées à dosage égal d'une même chaux ou d'un même ciment, mais faites avec des sables, des cailloux ou des moellons granitiques ou quartzeux.

Les proportions de chaux, de ciment et de sable à faire entrer dans la composition du mortier destiné à être employé à la mer, doivent être établies de manière que la quantité de pâte soit égale au vide du sable quand il s'agit de mortier ou de béton qui ne sont immergés qu'après la prise à l'air. Si l'immersion doit être immédiate, on augmente la quantité de pâte d'environ 15 0/0, afin de parer à la perte de pâte produite par le délavage et la formation des laitances.

Pour les maçonneries de béton ou de moellons, la quantité de

mortier doit être réduite à celle qui est strictement nécessaire pour envelopper et relier parfaitement entre eux les cailloux ou les moellons. Pour le béton, cette quantité ne doit pas excéder le volume des vides des cailloux, augmenté d'un dixième environ quand il s'agit d'une immersion immédiate. Pour les maçonneries de moellons, cette quantité doit être réduite à la plus stricte limite par un parfait agencement des matériaux. Plusieurs éclats de pierre, reliés entre eux par un joint en mortier de chaux très peu hydraulique n'excédant pas *deux à trois millimètres* d'épaisseur, étaient susceptibles de rester indéfiniment soudés entre eux, bien qu'immergés dans l'eau de mer après la prise du mortier à l'air, tandis que des éclats de même pierre, reliés entre eux avec le même mortier et immergés dans les mêmes conditions, mais l'épaisseur des joints étant de *un centimètre*, n'étaient pas susceptibles de rester immergés plus de 15 à 20 jours sans que la décomposition du mortier eût lieu, et que les éclats fussent séparés.

On doit préférer, pour les travaux à la mer, les maçonneries de moellons à celle de béton, tant que cette dernière n'est pas motivée par une immersion immédiate avant la prise du mortier.

Les travaux à la mer qui ont résisté le plus longtemps ont été établis avec des mortiers de pouzzolanes naturelles énergiques; les mortiers diversement composés de chaux grasses de pouzzolanes artificielles et de sable se sont ramollis après un temps plus ou moins long. On emploie avec succès un simple mortier de sable de grève et d'une chaux artificielle de deuxième cuisson d'une grande énergie. On a obtenu, avec le ciment artificiel de première cuisson, composé de craie et d'argile (ciment de Portland), des résultats supérieurs à ceux des pouzzolanes.

Plâtre. — Le sulfate de chaux, soumis à une certaine température, perd son eau de cristallisation et fournit le plâtre.

Le sulfate de chaux est très répandu dans la nature, mais moins que le carbonate. On le rencontre à l'état anhydre ($CaO.SO^3$), et les minéralogistes lui donnent le nom d'*anhydrite*, et à l'état hydraté ($CaO.SO^3 + 2HO$) on l'appelle *gypse* ou *pierre à plâtre*. Ces deux minéraux forment souvent des amas lenticulaires considérables dans les couches de trias, où ils sont ordinairement associés au sel gemme. On rencontre des amas de gypse dans le terrain tertiaire inférieur (la pierre à plâtre des environs de Paris). Les couches gypseuses y sont intercalées dans des couches marneuses, supérieures au calcaire grossier, qui est la pierre à bâtir de Paris.

Le sulfate de chaux anhydre, ou anhydrite, a une densité de 2,9. Il forme des masses compactes, à textures cristallines, dures.

Le sulfate de chaux hydraté se rencontre à l'état de cristaux

qui se rayent avec l'ongle. Ces cristaux sont des prismes volumineux, de fines aiguilles, des lames, des rosaces, des lentilles, des fers de lance ou des masses à tissu lamellaire, fibreux, grenu, compact ou terreux.

Quand le sulfate de chaux est pur, il ne donne point d'étincelles par le choc de l'acier, et ne fait pas effervescence avec les acides.

Les eaux de puits des environs de Paris contiennent une certaine quantité de ce sel en dissolution; elles sont *séléniteuses* et impropres aux usages domestiques (savonnage, cuisson des légumes, etc.). Si l'on évapore des quantités répétées de cette eau, comme dans les chaudières à vapeur, il se forme un dépôt de sulfate de chaux hydratée.

Le sulfate de chaux, à la température ordinaire, se dissout dans 500 fois son poids d'eau. Le maximum de solubilité correspond à + 35°; à 0°, 100 parties d'eau dissolvent 0gr,205, et à 35°, 0gr,254; au-dessus de 35°, la solubilité diminue à mesure que la température augmente, et, à 100°, 100 parties d'eau n'en dissolvent que 0gr,217.

Le gypse, chauffé à 120 ou 130°, abandonne son eau et se change en sulfate de chaux anhydre; mais à cet état, mis en contact avec l'eau, il reprend facilement celle qu'il a perdue, et s'échauffe d'une manière sensible. Pour que ce dernier effet se manifeste, il faut que le gypse n'ait pas été trop chauffé; ainsi, lorsque la température s'élève à 160°, la matière ne reprend plus son eau que très lentement.

Le sulfate de chaux anhydre de la nature, l'anhydrite, ne se combine pas avec l'eau, il se comporte comme le gypse qui a été calciné au rouge. Le sulfate de chaux fond à la température rouge, et il se solidifie par le refroidissement en une masse cristalline, dont les clivages sont les mêmes que ceux de l'anhydrite.

C'est sur cette propriété du gypse de perdre son eau de cristallisation à une température peu élevée, et de la reprendre promptement quand on le mélange avec ce liquide, qu'est fondé l'emploi du plâtre comme mortier. En mélangeant avec de l'eau du plâtre déshydraté, réduit en poudre fine, on en forme une pâte liquide, dans laquelle, au premier moment, les parcelles de sulfate de chaux anhydre sont mécaniquement mélangées; mais bientôt le sulfate de chaux se combine avec l'eau, et se change en sulfate hydraté. Une partie de l'eau mélangée disparaît dans la combinaison; les particules, qui étaient désagrégées dans la pâte liquide, s'agrègent en petits cristaux au moment où ils se combinent avec l'eau. Ces petits cristaux se *feutrent*, les uns dans les autres, et la matière finit par se prendre en une masse.

Le plâtre peut se manier sans danger. Réduit en poudre, il n'a besoin du mélange d'aucune matière, autre que l'eau, pour faire

prise et former un corps solide d'une dureté égale à celle de la pierre tendre.

Cette qualité du plâtre d'acquérir promptement un certain degré de solidité et de dureté le rendrait préférable au mortier, s'il pouvait résister aux intempéries et à l'humidité ; mais il n'en est pas ainsi, et il ne peut être employé que pour des travaux recouverts, si l'on veut qu'il se conserve. Sa facilité d'adhérer à la pierre et au bois permet de l'employer pour la construction des murs et des voûtes, ainsi que pour les enduits intérieurs et extérieurs ; on en recouvre aussi les cloisons, pans de bois, planchers, etc. ; un bâtiment, depuis le sol du rez-de-chaussée jusqu'au grenier, peut être entièrement recouvert de plâtre, et paraître composé d'une seule pièce de cette matière.

Le plâtre employé à Paris est tiré des carrières de Montmartre, Pantin, Ménilmontant, Charonne, Montreuil, Clamart, Villejuif, etc. ; celui de Pantin est le plus estimé.

Variétés de pierres à plâtre. — Certaines pierres gypseuses sont employées comme pierres d'appareil, moellons, pierres d'ornement, mortier ou enduit de plâtre. On distingue :

L'*albâtre gypseux* (Volterra, Toscane), à structure concrétionnée, moins dure que l'albâtre ordinaire (calcaire).

Le *gypse filamenteux* et saccharoïde (anhydrite des Alpes, à Vizille (Isère), est un sulfate de chaux naturel, pur et en masse, mais cristallisé confusément ; on en fait du plâtre de choix pour les sculpteurs. C'est une belle pierre blanc de neige.

La *sélénite*, *gypse feuilleté* ou *pierre à Jésus*, est un sulfate de chaux naturel, que l'on trouve en cristaux volumineux pouvant se diviser en lames minces et brillantes ; elle fournit le plus beau et le meilleur plâtre de sculpture.

L'*alabastrite*, ou *faux albâtre*, a l'aspect du marbre blanc ; il jouit d'une demi-transparence ; il a quelque analogie avec l'albâtre calcaire, mais sans en avoir ni la beauté, ni la solidité. On en fait des objets d'ornements, tels que vases, massifs de pendules, etc.

Le plâtre destiné au moulage doit être plus pur que celui des constructions, et il doit être cuit hors du contact du combustible. On se sert pour cela du *gypse en fer de lance*, qui forme des petites couches au milieu du terrain gypseux de Montmartre. On concasse ce gypse en morceaux de la grosseur d'une noix, et on le cuit dans des fours analogues à ceux des boulangers, à une température inférieure à celle du rouge sombre.

Le *sulfate de chaux calcarifère*, ou la pierre ordinaire à plâtre, est composé des mêmes substances que le gypse, la sélénite et l'alabastrite, mélangées d'environ 12 0/0 de carbonate de chaux, d'argile ou de sable ; aussi acquiert-il un plus haut degré de dureté.

La pierre à plâtre des environs de Paris renferme :

Sulfate de chaux	70,39
Eau	18,77
Carbonate de chaux	7,63
Argile	3.21
	100,00

La composition moyenne des plâtres de 80,80 de sulfate de chaux pour 5,25 de carbonate de chaux, 2,80 de carbonate de magnésie, 1,50 d'alumine et peroxyde de fer, 4,06 de résidu insoluble, 5,06 d'eau, etc.

Le sulfate de chaux ($CaO.SO^3 + 2HO$) se compose de 32,6 parties de chaux, 46,5 d'acide sulfurique et 20,9 d'eau.

Pour déterminer la quantité de carbonate de chaux que contient la pierre à plâtre, on délaye un poids déterminé de la pierre, d'abord pulvérisée, dans un verre ou dans un vase en terre verni contenant de l'eau; on verse dessus une demi-partie d'acide nitrique étendu d'environ 3 fois son poids d'eau, et l'on agite jusqu'à cessation complète d'effervescence; on laisse reposer, et après quelques heures on décante le liquide clair qui surnage le dépôt, en inclinant doucement le vase; on lave à plusieurs reprises le dépôt, avec de l'eau pure, en laissant reposer chaque fois avant de répéter la décantation. Quand l'eau de lavage cesse d'être acidulée, ce que l'on reconnaît en plaçant quelques gouttes sur la langue, on étend le dépôt sur une feuille de papier, et on le laisse bien sécher; alors on le pèse, et la perte de poids éprouvée est le poids du carbonate calcaire contenu dans la pierre à plâtre soumise à l'épreuve.

Extraction de la pierre à plâtre. — Elle se fait à ciel ouvert ou par galeries. Ce dernier mode est le plus en usage pour les carrières de la Seine et de Seine-et-Oise, dont la longueur des galeries est quelquefois de 400 à 600 mètres. Dans ces carrières, on sépare les blocs, après les avoir tranchés, au moyen de coins en fer ou en bois, de pics à roche et de leviers; à l'aide de tarières, on fait aussi des trous de mine, que l'on remplit de poudre, dont l'explosion détache les plus gros blocs, qui sont ensuite réduits en morceaux faciles à transporter.

Deux ouvriers carriers peuvent, en 12 heures, extraire et réduire en moellons 5 mètres cubes de pierre à plâtre.

On distingue ordinairement :

1° Le *souchet*, qui se trouve situé sous le ciel de la carrière, et qui peut avoir $0^m,65$ de hauteur. On l'emploie à l'état de poussière pour recouvrir les fours, et il ne fournit qu'un plâtre médiocre;

2° Le *bousineux :* ce banc fournit du plâtre inférieur; il se trouve au-dessous du souchet, et il peut avoir $0^m,40$ de hauteur;

3° Le *toisé*, le *petit dur* et le *gros dur*, dont les hauteurs varient

de $0^m,45$ à $0^m,28$, fournissent du plâtre d'une excellente qualité;

4° La *ceinture*, le *gros gris* et le *petit glandeux* sont placés au-dessous des précédents, sous des hauteurs de $0^m,43$ à $0^m,28$; ils fournissent du plâtre d'une qualité très médiocre;

5° Le *gros glandeux*, la *brioche* et le *banc rouge* sont les bancs qui fournissent le meilleur plâtre, qui aurait même trop d'énergie s'il ne se trouvait mêlé au four avec les plâtres produits par les pierres des autres bancs;

6° Le *gros banc*, d'une hauteur de 1 mètre fournit un plâtre d'une qualité moyenne. Ce banc se trouve ordinairement sur le sol de la carrière, lequel est formé par un banc de pierre très dure, nommé *sous-pieds*, qui donne une excellente pierre à plâtre, mais que l'on exploite rarement à cause des difficultés que fait naître l'arrivée de l'eau à cette profondeur : ce banc se trouve quelquefois à 150 mètres au-dessous du sol extérieur.

L'une des meilleures pierres à plâtre des environs de Paris est le *pied noir*. Elle est dure et très résistante à la cuisson.

Une autre variété, très facile à cuire, est celle extraite des environs de Paris, appelée *banc de mouton :* sa texture moins serrée laisse dégager facilement l'eau de cristallisation. C'est la variété qu'on emploie pour préparer le plâtre cuit dans les fours de boulangers et destinée aux mouleurs et figuristes.

On est souvent obligé de soutenir les ciels des carrières, ordinairement coupés par des *feuillères* ou *filets*, en construisant dessous des piliers et des voûtes en maçonnerie. Lorsque le ciel d'une galerie paraît s'affaisser à un endroit, on construit en dessous, pour le consolider, des arceaux en maçonnerie de $0^m,40$ à $0^m,50$ de longueur. Comme le montre la figure 35, on entaille les naissances de ces arceaux dans la masse de pierre à plâtre formant les parois latérales de la galerie, et des grands cercles de cuves, supportés aux extrémités par de forts patins en plâtre, servent de cintre.

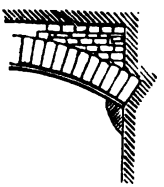


Fig. 35.

L'ouvrier maçon doit éviter d'ébranler par des chocs les parties qui menacent de tomber. Si les pierres ou les terres s'égrènent à plusieurs reprises successives et à de courts intervalles, le plus souvent un éboulement ne tarde pas à se produire.

Toutes les pierres employées pour exécuter les travaux de consolidation dans les carrières à plâtre proviennent de ces carrières mêmes. Dans quelques localités on emploie les plus durs moellons de pierre à plâtre pour construire les bâtiments; mais, à Paris, ils sont prohibés pour cet usage, à cause de leur peu de résistance; à peine en construit-on quelques murs de clôture.

L'exploitation des carrières de pierres à plâtre a été réglée par le décret du 22 mars 1813.

Cuisson de la pierre à plâtre. — Les fours employés à cette cuisson s'établissent aux abords des carrières, et ils se composent (*fig.* 36) d'un mur de 4m,50 de haut, formant le derrière du four, et de deux autres perpendiculaires au premier et supportant un comble à deux égouts, dont les tuiles sont posées à claire-voie, afin de laisser dégager la fumée et les vapeurs.

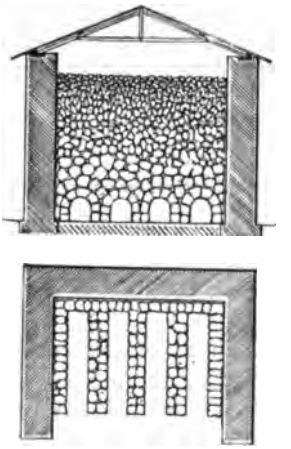


Fig. 36.

Sous cette espèce de hangar, dont le devant reste ouvert, on établit, parallèlement aux murs latéraux, plusieurs petites galeries voûtées, de 0m,65 de haut sur 0m,50 de large, séparées par des piliers de même largeur. Ces galeries, qui servent de foyers, se font avec les plus gros morceaux de pierre à plâtre, en laissant des petits vides dans les voûtes pour faciliter le passage de la fumée. Au fur et à mesure que les voûtes se construisent, on les consolide en remplissant les vides laissés entre les extrados voisins; puis on stratifie la pierre à plâtre par couches sur toute l'étendue du four, et on élève la charge jusqu'au sommet des murs du four, en plaçant les plus gros morceaux, qui sont les plus difficiles à cuire, vers le bas du four; on termine le chargement par les éclats provenant des résidus.

On remplit alors les galeries de fagots, de bourrées ou de bois refendu; on y met le feu, que l'on active graduellement; puis on entretient une chaleur régulière jusqu'à la fin de l'opération. La flamme, passant à travers les vides des pierres, s'élève graduellement jusqu'au haut de la charge et distribue également la chaleur dans toutes ses parties. La cuisson terminée, on recouvre la masse d'une couche de poussier de pierre à plâtre, afin de concentrer la chaleur.

Par mètre cube de plâtre on brûle de 135 à 210 kilogr. de bois, selon sa nature.

La durée de la cuisson du plâtre varie de 10 à 15 heures.

La houille peut être employée pour cuire le plâtre; mais, comme il importe que celui-ci conserve sa blancheur, on a recours à des fours particuliers, où les combustibles brûlent dans un foyer séparé dont la chaleur est réverbérée sur la pierre à plâtre, ou au moins dont les gaz ne sortent, autant que possible, que brûlés pour traverser la pierre à plâtre. Les fours coniques,

où la houille est mêlée avec la pierre, ne sont employés que pour la cuisson du plâtre destiné à amender les terres.

Le poids de la pierre à plâtre diminue d'un quart environ à la cuisson, par suite de l'évaporation de l'eau de cristallisation.

Tableau des résultats moyens obtenus pour trois fours contenant chacun 60 mètres cubes de plâtre (*carrières de Chanteloup*)

BOIS	FAGOTS OU BOURRÉES		COMBUSTIBLE BRULÉ	
	Nombre	Poids de chaque	en totalité	par mètre cube
		kil.	kil.	kil.
Chêne	550	23,00	12 650	210,83
Bouleau et châtaignier mélangés.	700	16,50	11 550	192,50
Chêne et charme mélangés.....	900	9,00	8 100	135,00

Indices des qualités du plâtre. — Le plâtre, convenablement cuit, est doux et s'attache aux doigts; les enduits qu'il forme sont d'un grain fin et agréable. Lorsque le plâtre n'est pas assez cuit, il est aride, n'absorbe l'eau qu'imparfaitement, et ne forme pas un corps assez solide. Quand il est trop cuit, il refuse l'eau, parce qu'il est en partie vitrifié; il est devenu maigre, graveleux; il s'égrène au lieu de former un corps solide, quand il est employé.

Les mauvais plâtres sont, en général, jaunâtres, rudes au toucher, comme la pierre calcaire pulvérisée; ils sont longs à prendre et donnent des enduits qui se gercent facilement, et qui, au lieu de résonner sous la truelle brettée, se rayent profondément.

Essai du plâtre. — On prend une poignée de plâtre et on le gâche serré. Dès qu'il commence à prendre de la consistance, on en forme un pain allongé, et l'on attend 7 à 8 minutes. Si, après ce temps, le pain a peu de ténacité, s'il est friable, le plâtre ne vaut rien. S'il se casse, avec difficulté, le plâtre est bon, et d'autant meilleur que sa ténacité est plus grande.

Un second mode consiste à comprimer dans la main une poignée de plâtre à essayer. Si, en rouvrant la main, le plâtre se déforme comme du sable, il ne vaut rien. S'il conserve nettement l'empreinte des doigts, et s'il exhale une forte et mauvaise odeur, il est bon.

Conservation du plâtre. — Après la cuisson, le plâtre est retiré du four, et on le réduit en petits morceaux avec un outil semblable à ceux dont les casseurs de cailloux font usage sur les routes. C'est dans cet état qu'il était autrefois ensaché et livré

aux maçons ; maintenant, on ne l'amène sur les chantiers que réduit en poudre, au moyen de manèges. Le plâtre en poudre absorbant avec avidité l'humidité atmosphérique, il est plus sujet à s'éventer que le plâtre en morceaux ou en *gravats*.

Le plâtre exposé à l'air absorbe l'humidité et perd ses qualités (*salpêtrage*); aussi doit-on l'utiliser au plus tôt. Si on le tire de loin, il convient de faire venir la pierre et de la cuire au moment d'employer le plâtre.

Le plâtre doit être employé peu de temps après sa fabrication. Il en est cependant dont la prise serait alors tellement rapide que l'ouvrier n'aurait pas le temps de s'en servir; il prendrait corps dans l'auge. Pour tirer le meilleur parti possible de ce plâtre, on le conserve 4 ou 5 jours dans le gâchoir avant de l'employer.

Quand on veut conserver le plâtre, il faut apporter les plus grandes précautions pour le préserver du contact de l'air, sans quoi il en absorbe peu à peu l'humidité, et, une fois *éventé*, il n'est plus bon à rien, à moins de le remettre de nouveau au four, et encore ne retrouve-t-il jamais ses qualités primitives. On a vu du plâtre conserver d'une année à l'autre ses bonnes qualités, en le disposant en tas sur un sol sec, sans être adossé à des murs en maçonnerie; on arrose la surface du tas en y répandant uniformément un peu d'eau, de manière à former une croûte préservant des influences atmosphériques le plâtre placé dessous. Cette croûte peut être remplacée par une enveloppe en plâtre de 3 à 4 centimètres, de laquelle on recouvre entièrement le tas de plâtre.

Dans les pays où le plâtre est rare et où on le tire de loin, il faut le faire venir en pierre et le cuire sur les lieux, ou bien le renfermer dans des tonneaux pour qu'il n'absorbe pas l'humidité de l'air pendant le trajet.

Emploi du plâtre. — On distingue :

1° Le *plâtre au panier*, qui est à l'état dans lequel le fabricant le livre; on l'emploie pour les aires de planchers, les hourdis, les murs, les pans de bois, les crépis. Le plâtre tamisé dans un panier d'osier est plus fin que le précédent, et il sert aux crépis d'une faible *charge* (épaisseur);

2° Le *plâtre au sas* est passé dans un tamis de crin ; il sert aux enduits et moulures;

3° Le *plâtre au tamis de soie* est utilisé pour beaux enduits et moulures qui doivent recevoir de la peinture.

Les *mouchettes* sont les résidus provenant du passage du plâtre au sas. On les utilise en les mêlant avec d'autre plâtre pour faire de gros ouvrages.

La *fleur de plâtre*, ou *plâtre à la pelle*, est le plâtre qui se trouve en poussière plus fine encore que le plâtre passé au tamis de

soie; on l'obtient en le faisant sauter sur une pelle, à laquelle il s'attache facilement; il sert à *octer* les moulures, c'est-à-dire à boucher les petits trous et à repasser les arêtes.

Le prix du plâtre varie de 16 à 17 francs les 40 sacs; le droit d'octroi est de 1 fr. 20 par mètre cube.

Gâchage du plâtre. — Cette opération a pour but de faire reprendre rapidement et en une seule fois au plâtre l'eau qu'il contenait avant la cuisson. Cette eau le réduit en pâte, ce qui permet de l'employer comme mortier, puis provoque, à mesure qu'elle est absorbée, une cristallisation confuse qui fait adhérer entre elles les molécules du plâtre, de manière à en former une masse.

Pour le plâtre bien cuit, passé au sas et destiné à faire des enduits, il faut 30 litres d'eau pour gâcher un sac de plâtre de 25 litres.

Pour le plâtre bien cuit, passé au panier et gâché pour hourder les maçonneries ou pour faire les crépis, il faut, en moyenne, 18 litres d'eau par sac de plâtre de 25 litres.

Le plâtre non assez ou trop cuit absorbe 1/8 d'eau de moins que les précédents.

Une pierre à plâtre, cuite à un degré convenable et écrasée ensuite, peut absorber un volume d'eau à peu près égal à celui qu'elle contenait avant la cuisson.

Pour opérer le gâchage du plâtre, on met dans l'auge l'eau nécessaire : pour un *voyage*, le garçon verse deux seaux d'eau dans l'auge; pour deux *truellées*, un seau et demi; *une truellée*, un seau; *une demi-truellée*, un demi-seau; et pour *une poignée*, environ un quart de seau; quand le maçon crie de lui gâcher *gros comme un œuf*, il demande la moitié d'une poignée. Une fois l'eau versée dans l'auge, on y ajoute, avec la pelle, la quantité de plâtre, en ayant soin de la répandre uniformément sur la surface de l'eau.

Si le travail nécessite l'emploi d'un plâtre énergique, dont la solidification doit se faire promptement, on met dans l'eau une quantité de plâtre nécessaire pour former une pâte d'une consistance convenable pour en permettre l'emploi immédiat : c'est ce que les maçons appellent *gâcher serré*. *Gâcher clair* consiste à ne mettre dans l'eau que la quantité de plâtre nécessaire à la formation d'une pâte un peu liquide, de manière à ralentir la prise. Il est des ouvrages pour lesquels le plâtre doit être gâché *très clair*, surtout quand il est énergique; c'est ce que l'on fait pour les enduits des plafonds, et pour ceux d'une grande surface et de peu d'épaisseur. Enfin, lorsqu'on a à remplir des vides où la main ni la truelle ne peuvent atteindre, pour couler des pierres, par exemple, on fait un *coulis*, c'est-à-dire qu'on gâche le plâtre assez clair pour que, versé dans des godets placés au-dessus des vides

à remplir, il pénètre tous ces vides. Le plâtre gâché à ce degré ne se solidifie qu'imparfaitement et au bout d'un certain temps ; c'est ce plâtre, quand il a déjà commencé à prendre, que l'on nomme *plâtre noyé*.

Le plâtre étant versé dans l'eau, le garçon met l'auge sur sa tête et l'apporte au compagnon, qui en mélange le contenu, en l'agitant avec une truelle en cuivre et en écrasant les mottes avec la main gauche. Si le plâtre gâché est trop clair pour être employé immédiatement, le maçon le laisse *couder*, c'est-à-dire prendre quelque consistance ; ensuite il l'emploie avec rapidité, car, une fois que le plâtre a coudé un peu, il ne tarde pas à prendre.

L'usage des truelles en cuivre est nécessaire ; les truelles en fer seraient détruites à cause de leur facile oxydation, et le plâtre y adhérerait trop.

Dans les localités où le plâtre est d'un prix élevé, on n'en fait usage que pour les scellements des petites ferrures, pour les galandages des cloisons en briques, pour les enduits et pour les plafonds et corniches. Dans ces localités le maçon est désigné sous le nom de *plâtrier* ou de *plafonneur ;* il emploie une grande truelle mince en acier.

Pendant le gâchage et l'emploi du plâtre, le plâtre reprend l'eau dont il a été privé par l'action du feu. Il s'opère une cristallisation confuse pendant laquelle des milliers de petits cristaux se produisent presque instantanément, et forment un tout solide. Il y a production de chaleur, due à ce que l'eau, en se solidifiant, abandonne une partie de son calorique. Enfin il y a gonflement et augmentation de volume, ce qui provient de ce que, pendant la cristallisation, les molécules n'ont pas le temps de prendre un arrangement parfait avant la prise. Cette force d'expansion du plâtre peut renverser les constructions les plus solides.

Le plâtre, en se solidifiant, augmente d'environ 1/100 de son volume. Le gonflement du plâtre employé en jointoiement peut aller jusqu'à faire éclater les pierres posées dans certaines conditions. Dans un plancher hourdé au plâtre, cette force d'expansion serre et raidit les solives de telle sorte que le tout ne forme qu'un seul bloc.

Un mètre cube de plâtre en poudre produit $1^{mc},18$ de mortier au premier instant de solidification ; le gonflement opéré dans le volume du plâtre, 24 heures après son emploi, est de 1 0/0 ; la moitié de ce gonflement est produite une heure après l'emploi.

Cohésion du plâtre. — Le plâtre qui unit 2 briques, avec un tiers plus de force que ne le fait le mortier de chaux, perd de sa force à mesure qu'il vieillit, tandis que celle du mortier va en augmentant. L'adhésion du plâtre aux pierres et à la brique est moindre que sa force de cohésion avec lui-même. Il adhère mal au bois.

Le mortier de plâtre arrive à sa cohésion finale après un mois d'exposition à l'air, sous une température de 20 à 25° C.

Le poids de 1 mètre cube de plâtre varie de 1.200 à 1.600 kilogr. Le plâtre gâché à l'eau a une résistance à la compression de 5 kilogr. par centimètre carré; gâché au lait de chaux, elle atteint $7^{kg},3$.

Sa résistance maxima à la traction varie de 12 à 16 kilogr. par centimètre carré de section ; si on le mêle à la moitié de son volume de gros sable, cette ténacité descend à 5 kilogr. et à $3^{kg},75$ quand le sable approche du menu gravier.

Dans un lieu humide le plâtre n'acquiert jamais la cohésion précédente. Des fragments d'enduit, provenant d'un rez-de-chaussée de maison humide, ont donné une résistance de 2 kilogr. au plus par centimètre carré; ces mêmes fragments, après un mois d'exposition à l'air en juillet, avaient pris une résistance de 7 kilogr. par centimètre carré. Le plâtre se conserve bien au sec, à l'abri du soleil.

Action de la chaux, du plâtre et du ciment sur le fer. — *La Revue technique* a publié une note au sujet de l'action produite par la chaux, le plâtre et le ciment sur le fer. Cette action peut être fâcheuse. Si l'on plonge des morceaux de fer dans un mortier de chaux fraîchement préparé, on constate une rapide oxydation, principalement s'il s'agit de fer forgé ou laminé. Cette oxydation n'est pas limitée à la surface, mais gagne le cœur de la pièce, qui subit, au bout de peu de temps, une altération profonde.

A ce premier effet vient s'ajouter celui de l'énorme expansion causée par l'augmentation de volume de la masse. On a pu constater ainsi que des cadres en fer, solidement assemblés à l'aide d'étriers, étaient néanmoins rompus. L'action du plâtre est analogue, quoique moins prononcée, lorsque la masse est exposée pendant quelque temps à l'action de l'air humide. Au contraire, le ciment semble être un excellent préservatif contre la rouille, et des morceaux de fer recouverts d'un mince enduit de ciment sont restés inattaqués après un séjour assez long dans l'eau. Un pareil enduit est préférable à une peinture au minium, en raison de son prix peu élevé.

Plâtras. — Ce sont des morceaux provenant de la démolition d'anciennes constructions, et principalement des ouvrages en plâtre. Ceux qui proviennent des lieux bas et humides contiennent toujours une quantité de chaux nitratée, qui les rend impropres; les salpêtriers les enlèvent pour en extraire le salpêtre, ou on les conduit aux décharges publiques. Les plâtras non salpêtrés sont utilisés dans les constructions.

Les *plâtras blancs* proviennent des démolitions des pans de bois, planchers, etc.; ils sont estimés quand ils sont secs, à cause de leur légèreté, et on les emploie pour ouvrages légers, à l'intérieur

des bâtiments, comme pour hourder les pans de bois, les bandes de trémies, les manteaux et jambages de cheminées, et les maçonneries non destinées à supporter de fortes charges, ni exposées à l'humidité.

Les *plâtras noirs* proviennent de la démolition des vieux coffres de cheminées en plâtre ; la suie qui les a noircis d'un côté et le bistre qui les a pénétrés dans toute leur épaisseur les font rejeter des constructions qui exigent la blancheur, ces plâtras faisant apparaître une teinte de bistre à travers les crépis et enduits qui les recouvrent; on les emploie pour murs dosserets, de cheminées, murs de clôture et autres ouvrages qui n'exigent pas une grande blancheur.

Les plâtras sont inférieurs aux moellons sous le rapport de la durée et de la résistance; ils ont l'avantage de ne pas charger autant les bâtiments, et de coûter moitié moins.

Carreaux et poteries creuses en plâtre. — Avec le mortier de plâtre et des plâtras de peu d'épaisseur, on fait des carreaux parallélipipédiques qui servent à construire des cloisons d'appartements. Ces carreaux ont ordinairement $0^m,48$ de longueur sur $0^m,32$ de largeur, et de $0^m,04$ jusqu'à $0^m,16$ d'épaisseur. L'épaisseur habituelle est de $0^m,08$, conforme à l'équarrissage ordinaire des huisseries et des poteaux de remplissage des cloisons.

On fait aussi usage de carreaux creux en plâtre, ayant à peu près les mêmes dimensions; ils sont très légers, et assourdissent les appartements divisés par les cloisons qui en sont construites. On prépare à l'avance des carreaux circulaires, pour la construction des niches de poêles de salles à manger.

On fabrique avec du plâtre des poteries creuses de mêmes formes et à peu près de mêmes dimensions que celles en terre cuite (voir précédemment). On les a employées à la construction des planchers en fer, pour remplir les intervalles des fermes, ce que l'on fait avec des plâtras, qui pèsent moitié plus, ou avec de la poterie en terre cuite, dont le prix est deux fois plus élevé.

Dalmont, architecte, a cité une de ces poteries ayant résisté à une pression de 1.000 kilogr. Dans un bâtiment où l'on en faisait usage, les plafonds étant parfaitement dressés avant d'être enduits, ils offraient, en leur faisant éprouver des secousses considérables, une résistance plus grande que les planchers en charpente, quoique les vides occasionnés par la distance des fermes fussent de $1^m,45$ sur $1^m,60$. Un plancher en bois, pour une pièce d'une certaine dimension, pesant 15.000 kilogr. et coûtant 1.400 francs, un plancher en fer de même dimension, avec remplissage en pots de terre cuite, pèse 11.000 kilogr. et revient à 1.300 francs, et que le même plancher, avec remplissage en poterie creuse de plâtre, ne pèse que 8.400 kilogr. et ne revient qu'à 1.000 francs.

Les carreaux de plâtre valent 18 francs le 100. On les traverse de trous pour les rendre plus légers.

Ces carreaux sont posés de champ ; suivant leur épaisseur, leurs bords sont toujours creusés dans leur milieu, de façon à recevoir le plâtre qui sert à leur pose. Leur face est quelquefois striée, pour faciliter l'adhérence des enduits.

Plâtre aluné. — On emploie, pour mouler des objets d'art, un plâtre cuit avec de l'alun, et qui en renferme 2 0/0. Il prend plus de dureté que le plâtre ordinaire, et présente un plus bel aspect, parce qu'il est moins mat, et qu'il jouit d'une certaine translucidité. Pour préparer le plâtre aluné, on donne au plâtre une première cuisson, qui le prive de son eau de cristallisation ; puis, après, on le jette dans un bain d'eau saturée d'alun. Au bout de 6 heures, on le retire, et, après l'avoir laissé sécher à l'air, on lui fait subir une seconde cuisson, en le chauffant au rouge brun. Après l'avoir pulvérisé dans un mortier ou sous des meules, il peut être employé de la même manière que le plâtre ordinaire; mais souvent, au lieu de le gâcher dans l'eau pure, on le gâche dans une dissolution d'alun. La prise du plâtre aluné est moins prompte que celle du plâtre ordinaire; il est encore mou après plusieurs heures; de plus, il ne s'évente pas en vieillissant. Le plâtre aluné remplace le stuc avec avantage; mais il coûte 22 francs le quintal, quatre fois plus que le stuc ordinaire. Mêlé avec une égale quantité de sable, il donne une matière qui prend une extrême dureté, et avec laquelle on fabrique des dalles; il supporte même le mélange de 2 parties de sable.

Plâtres colorés, etc. — En gâchant le plâtre avec de l'ocre jaune, on lui donne une couleur de pierre ; l'ocre brune ou rouge lui communique un ton de brique; de l'ocre jaune et un peu de noir lui donnent un ton de granit.

Pour les tuyaux de cheminée, on a employé longtemps le plâtre, mais les crevasses qui s'y produisaient lui ont fait préférer la brique.

Le plâtre, mis en contact avec le fer, l'oxyde par l'action de son acide sulfurique ; il est donc préférable d'employer le moins possible le plâtre pour scellements et surtout dans les lieux où il ne peut sécher vite.

Dans les pays où le plâtre est cher, on fait un mélange de 1 partie de mortier de plâtre et de 3 de mortier de chaux, ce qui donne un produit applicable pour enduits extérieurs. Pour un enduit qui doit sécher vite, on ajoute 1 partie de sable pour 2 de plâtre en poudre. Ce dernier enduit convient pour de fortes épaisseurs, pour les premières charges destinées à recevoir les corniches et pour enduire les pans de bois. Pour traîner les corniches, on emploie un *stuc de plâtre* composé de 3 parties de chaux fraîchement éteinte, de 1 de sable et 4 de mortier de plâtre.

Durcissement des pierres tendres. — Silicatisation, etc. — Le durcissement des pierres poreuses et des plâtrages, ainsi que la consolidation des grès ou des briques d'une désagrégation facile, s'opèrent au moyen du silicate de potasse. Le silicate de soude, tout en produisant le même durcissement, donne lieu à des efflorescences.

La dissolution siliceuse que l'on emploie est fixée à 35° B., afin qu'il suffise de l'étendre d'une fois et demie son volume d'eau pour obtenir un liquide du degré de concentration convenable.

La dissolution siliceuse est absorbée par les pierres poreuses ; après 24 heures d'exposition à l'air, une nouvelle quantité de dissolution est absorbée, et ainsi de suite jusqu'à ce que l'absorption soit nulle, c'est-à-dire jusqu'à ce que les pores de la pierre soient complètement bouchés par la pâte siliceuse concrétée.

Pour une pierre de moyenne porosité, la dépense en silicate par mètre carré de surface ne dépasse pas $1^{kg},5$.

Dans les constructions neuves l'application peut se faire immédiatement, sans aucune préparation des surfaces. Dans les constructions anciennes, il faut nettoyer les surfaces pour faciliter la pénétration de la dissolution. Un grattage à vif est préférable. Si on lave, il faut le faire avec une brosse dure ou une lessive de potasse caustique. L'eau acidulée doit être proscrite.

Lorsque la pierre à durcir occupe un petit volume, on procède par immersions répétées de l'objet dans la dissolution siliceuse, chaque immersion durant quelques heures.

Pour des murs à grandes surfaces, on agit par arrosement à l'aide de pompes à incendie, de pompes ou de grandes seringues à jet divisé. Si l'on ne veut silicatiser que certaines parties, telles que des sculptures, on emploie des brosses molles formant éponge, de manière à retenir beaucoup de liquide et en fournir aux surfaces autant que par les moyens précédents.

Trois applications dans 3 journées consécutives suffisent pour durcir la pierre.

La silicatisation ne doit pas se faire par les fortes gelées. En outre, on choisit un temps couvert, de préférence à un temps chaud et sec, afin d'éviter une dessiccation trop rapide.

L'opération de la silicatisation a été établie par Fuchs et Kuhlmann. Si l'on met à froid de la craie dans une dissolution de silicate de potasse, une portion de la craie est transformée en silicocarbonate de chaux, et une portion correspondante de potasse est déplacée ; la craie durcit peu à peu à l'air comme un bon ciment.

La craie mise en pâte avec du silicate adhère au corps sur lesquels on l'applique.

Un calcaire tendre, plongé dans du silicate de potasse dissous, en absorbe une quantité notable, et son durcissement, d'abord

superficiel, pénètre progressivement et peut atteindre 1 centimètre de profondeur.

Le durcissement est dû à la décomposition du silicate de potasse par la craie et à l'action de l'acide carbonique de l'air. Une dissolution de silicate de potasse, abandonnée à l'air, donne à la longue un dépôt gélatineux concrété de silice et du carbonate de potasse ; cette silice finit par durcir complètement. Le durcissement, dans une atmosphère privée d'acide carbonique, est bien plus faible qu'à l'air. C'est donc un silico-carbonate de chaux hydraté qui se forme et qui durcit en perdant peu à peu son eau d'hydratation ; le dépôt concrété de silice ajoute au durcissement de la pierre, tandis que le carbonate de potasse suinte sensiblement et disparaît sans altérer la surface.

En employant le silicate de potasse ou de soude sur des pierres poreuses non calcaires, l'acide carbonique de l'air suffit pour opérer, à la surface des pierres, une consolidation variable avec la porosité.

On ne silicatise pas le plâtre frais, parce qu'il a de l'eau à expulser et que pour cela il expulse en même temps l'enduit.

La silicatisation revient à peu près à 0 fr. 75 par mètre carré.

L'application, à l'aide du pinceau, de *peintures siliceuses* sur les surfaces, contribue à la conservation des objets.

Pour la peinture sur pierre, les couleurs broyées sont délayées dans une dissolution siliceuse à environ 25° B. et appliquées en deux couches comme la peinture à l'huile ou à la colle.

Si les pierres sont très poreuses, il est bon de les silicatiser faiblement avant d'appliquer la peinture, afin que celle-ci ne soit pas trop vite desséchée par le contact du corps absorbant.

Cette même peinture s'applique sur bois, pourvu qu'il soit sec, peu exposé au soleil ou à la pluie et qu'il ne soit pas imprégné de résine.

On ne peut pas appliquer de peintures siliceuses sur des peintures à l'huile, et réciproquement, parce qu'on provoque ainsi une réaction chimique qui détériore la peinture.

Les inconvénients des silicates sont : la persistance des sels solubles à l'intérieur de la pierre (qui finissent par la salpêtrer et servent d'engrais pour les mousses parasites), et la formation d'un vernis superficiel qui emprisonne l'eau et amène la dégradation par la gelée. On y obvie en badigeonnant après à l'acide hydrofluosilicique, qui forme avec les alcalis des sels insolubles ; mais ceux-ci finissent par se décomposer en présence du carbonate de chaux, et les produits de cette décomposition redeviennent solubles. Il n'y a donc pas durcissement.

Les *fluosilicates* solubles, dont les oxydes et les carbonates sont insolubles, ne présenteraient plus ces inconvénients. Quand on imprègne un calcaire tendre de fluosilicate de magnésie, d'alu-

mine, de zinc ou de plomb, il se produit un dégagement d'acide carbonique qui est remplacé par l'acide fluosilicique. Les oxydes ou les sels, formés ou mis en liberté, sont insolubles, ils remplissent tous les pores de la pierre qui devient dure. Il n'y a pas de vernis superficiel.

Fluatation (*procédé Faure et Kessler*). — On enduit la surface avec une pâte formée d'eau et de poussière provenant de la pierre tendre; on imprègne de fluosilicate. La pâte comme la pierre elle-même durcissent; tous les pores de la surface sont bouchés, et l'on peut donner un poli comparable à celui de la pierre dure. Il faut procéder progressivement, en débutant par des liqueurs très étendues sur des surfaces bien sèches, afin d'empêcher que le dégagement trop vif de l'acide carbonique, pendant la réaction, ne soulève et ne projette la poussière de la pierre à durcir. En employant des fluosilicates colorés, comme ceux de cuivre, de chrome, de fer, etc., la pierre se colore dans sa profondeur, par formation de composés insolubles. On peut ainsi obtenir, à peu de frais, des effets décoratifs comparables à ceux du marbre.

La *phosphatation* et la *paraffination* ont été employées sans grand succès pour préserver les pierres.

Durcissement du plâtre (*procédé Julhe*). — On mélange intimement 6 parties de plâtre avec 1 de chaux grasse, récemment éteinte et finement tamisée. Ce mélange s'emploie comme le plâtre ordinaire. Quand il est bien desséché, on imbibe l'objet confectionné avec une solution de sulfate de fer ou de sulfate de zinc. La chaux contenue dans le plâtre décompose le sulfate, avec production de deux corps insolubles, un sulfate de chaux et un oxyde. Avec le sulfate de zinc l'objet conserve la couleur blanche du plâtre; avec le sulfate de fer l'objet prend la teinte brune du sesquioxyde de fer. Le sulfate de fer donne au plâtre une surface très dure et très résistante.

Pour durcir le plâtre, on emploie encore l'*oléosylvine*, liquide qui a la consistance du vernis, qui s'applique au pinceau et pénètre dans l'épaisseur du plâtre jusqu'à $0^m,003$ et $0^m,006$.

La *marmoréine* est un liquide qui durcit le plâtre, le ciment, la pierre, la brique et même le bois. Le plâtre ainsi traité ne blanchit plus les vêtements; il se lave soit à l'eau claire, soit à l'eau phéniquée, comme le marbre; le durcissement s'accomplit par une simple imbibition, ou même par des applications au pinceau; on peut peindre, ou poser des papiers de tenture, 48 heures après l'opération. On peut laisser au plâtre, au ciment, à la pierre, etc., sa couleur naturelle, comme sous un vernis, ou les colorer à volonté par des matières qu'on met dans la *marmoréine* avant l'application.

Cette substance, appliquée sur les statues et autres objets d'art,

n'en altère en rien la forme, la couche appliquée ayant une épaisseur très faible.

Le mètre carré revient :

Pour le durcissement simple du plâtre, à	0 fr.	55
— — — et teinture, à	0	80
— l'imperméabilisation simple, à	0	40
— — du bois, à	0	50

La *marmoréine*, en estagnons de 10, 20, 25 et 50 litres, se vend 0 fr. 75 le litre ; avec 10 litres, on durcit 15 mètres carrés.

Le *liquide imperméabilisant* par estagnons de mêmes capacités, 1 fr. 75 le litre ; avec 10 litres, on imperméabilise plus de 50 mètres carrés sur plâtre ou ciment, et plus de 100 mètres sur bois.

Stuc. — C'est un marbre artificiel pour revêtir des murs, des colonnes, et pour confectionner des objets d'ornement.

1° *Stuc en chaux.* — On fait un mortier avec de la chaux et du sable fin tamisé, et on le mélange jusqu'à ce qu'il ne reste plus de grumeaux. On fait un bassin sur une palette avec une certaine quantité de ce mortier ; on y verse de l'eau, sur laquelle on sème une quantité de plâtre nécessaire pour l'absorber ; on se hâte de faire le mélange du plâtre gâché et du mortier, afin de l'employer promptement. Ce mélange, qui contient 2 parties de plâtre gâché pour 1 de mortier, sert à former la masse des corniches et moulures, ou la couche intérieure des enduits pleins. Pour les dernières couches de l'ébauche, la quantité de plâtre gâché n'est plus que de 1 partie pour 3 de mortier.

La masse étant ainsi formée, on la laisse sécher jusqu'à ce qu'elle ne contienne plus d'humidité à l'intérieur, avant de poser la dernière couche, ou le stuc proprement dit. Cette couche est faite d'un mélange de quantités égales de chaux et de calcaire, marbre ou craie en poudre tamisé. La chaux doit être choisie morceau par morceau, afin d'éviter les incuits et les biscuits ; on l'éteint par immersion, puis on l'écrase sur un marbre avec une molette, comme on le fait pour la peinture. Après 4 ou 5 mois d'extinction, on mêle cette chaux avec la poudre de marbre sans y ajouter d'eau, et l'on broie jusqu'à ce que le mélange soit parfait.

Quand on a préparé une certaine quantité de cette pâte, on mouille l'ébauche jusqu'à ce qu'elle n'absorbe plus d'eau, et avec un pinceau on applique dessus un peu de stuc, qu'on a délayé dans un vase. Au moyen d'une spatule, on applique une couche de stuc dur, dont, à mesure qu'elle sèche, on termine les formes et on lui donne le poli avec des ébauchoirs en acier et du linge mouillé enveloppé autour du doigt ou même avec le doigt seul.

Le stuc à la chaux peut s'employer à l'extérieur comme à l'intérieur ; dans le premier cas, l'ébauche ou les premières couches

doivent être faites entièrement au mortier de chaux hydraulique. Ce stuc est le meilleur, mais sa couleur n'est pas belle.

2° *Stuc en plâtre.* — Ce stuc s'obtient en gâchant dans une dissolution de colle forte du plâtre choisi. On choisit du bon plâtre bien cuit, on l'écrase dans un mortier en fonte ou sous une meule, puis on le passe dans un tamis de soie bien fin. Quelquefois même, afin d'être plus sûr de son plâtre, le stucateur choisit le meilleur et le plus blanc sulfate de chaux, le casse en morceaux de la grosseur d'un œuf et le cuit dans un four très chaud (de boulanger ou analogue). Après avoir préparé, au moyen d'un crépi, la surface sur laquelle le stuc doit être appliqué, l'ouvrier gâche son plâtre à stucquer dans une eau où il fait fondre une quantité de colle de Flandre suffisante pour que la dissolution ne soit pas trop claire: Le *plâtre maigre* exige plus de colle que le *plâtre gras* et *onctueux* au toucher. Le plâtre ainsi gâché fait prise plus lentement que s'il était gâché à l'eau pure. La colle de Flandre peut être remplacée par d'autres matières gélatineuses.

Si l'on veut obtenir un stuc blanc, il faut employer une colle incolore, de la colle de poisson par exemple. Pour avoir des stucs colorés en jaune ou en vert, on ajoute de l'hydrate de peroxyde de fer ou de l'oxyde de chrome. On obtient d'autres couleurs avec les oxydes de manganèse, de cuivre, les hydrocarbonates de cuivre, etc. Le plâtre étant gâché et remué, on l'emploie à la manière ordinaire.

Si l'on veut donner au stuc un aspect rubanné ou marbré, on fait dans l'enduit des veines qu'on remplit avec du plâtre gâché coloré. Les brèches s'imitent en introduisant dans la pâte des fragments de stuc coloré. Les granits se font comme les brèches en taillant le stuc, et en remplissant les trous avec une pâte ayant la couleur des cristaux qu'on veut représenter.

Quelquefois le stuc s'applique liquide, à l'aide d'une brosse. Dans ce cas, on en superpose une vingtaine de couches sur la surface à recouvrir.

Pour polir le stuc, on emploie le grès pilé et une molette de pierre ; il présente alors des cavités qu'on rebouche avec du stuc liquide plus chargé de gélatine. On le passe à la pierre ponce, puis on rebouche de nouveau les cavités, et on répète l'opération jusqu'à ce que la surface soit bien unie. On lui donne alors un poli plus parfait avec la pierre de touche, et l'on relève ce poli en le frottant avec des chiffons légèrement enduits de cire.

Avant de commencer le polissage, les surfaces doivent être parfaitement dressées, surtout lorsqu'elles sont grandes, car les flaches, qui deviennent plus sensibles par l'effet du poli, seraient d'un effet désagréable.

Le stuc de plâtre n'a de durée que dans les appartements et autres lieux secs, car il ne peut résister à l'humidité.

Prix du mètre carré poli de quelques variétés de stucs

ROCHE IMITÉE	LE MÈTRE CARRÉ poli
	fr.
Marbre blanc statuaire ; stuc appliqué à la brosse..	10
Marbre blanc veiné, jaune antique, etc. ; stuc posé à la truelle.....	13 à 14
Sarrancolin, brèche d'Alet, brèche africaine.....	15 à 16
Serpentines, marbre vert Campan, portor, griotte..	17
Granits et porphyres.....	16 à 18

Pour tous les stucs à la truelle, il faut compter en sus 4 fr. 50 d'épannelage. Pour les granits et les porphyres, la taille augmente encore le prix de 3 francs.

Le *plâtre durci* est un stuc formé du mélange de plâtre et de chaux ; on peut l'appliquer à l'extérieur.

Blanc en bourre. — C'est du mortier de chaux et de sable, ou de chaux et d'argile douce, auquel on a mélangé de la bourre, et dont on fait les plafonds et les enduits dans les localités où le plâtre manque.

On dispose le bassin qui reçoit la chaux éteinte, de manière que cette matière traverse une grille qui ne laisse passer ni biscuit, ni pierre, ou autre matière étrangère. Le mortier doit être fait avec cette chaux et du sable très fin (surtout pour la dernière couche). On peut remplacer le sable par l'argile pure et douce ; mais alors le blanc en bourre est inférieur. Il faut environ 1 de chaux grasse pour 5 à 6 de terre argileuse.

Lorsque le mortier est fait, en le remuant avec un bâton, on jette dessus de la bourre, jusqu'à ce que le mélange ait acquis une certaine consistance. Pour les couches inférieures des enduits, le mortier se fait avec de la bourre rousse, moins coûteuse que la bourre blanche ; pour couches apparentes, il se fait avec cette dernière.

Les meilleures bourres sont celles de veau et celles qui proviennent de la tonte des draps. Avant de faire usage de la bourre il faut la battre avec des baguettes.

Pour obtenir de bons enduits, il faut que la chaux employée soit éteinte depuis plusieurs mois.

Il faut éviter d'employer le blanc en bourre pendant les gelées. Avec la truelle on le pose sur un lattis jointif, préparé et fixé aux solives de manière que les lattes ne se touchent pas immédiatement, afin que le mortier puisse passer dans les intervalles et s'accrocher en séchant.

La première couche doit avoir 18 à 20 millimètres d'épaisseur; la seconde, que l'on pose quand la première est à moitié sèche, afin qu'elle adhère mieux, n'a que 7 millimètres ; enfin la troisième n'a que 2 à 4 millimètres; elle est en mortier plus fin.

Il faut passer la truelle plusieurs fois sur chaque couche à mesure qu'elle sèche, pour boucher les crevasses et les gerçures qui s'y forment par le retrait du mortier, et particulièrement sur la dernière couche, qui devient, faite avec soin, aussi unie et aussi lisse que les stucs.

Cette 3e couche (ou la 2e si l'on n'en met que 2) doit être faite en chaux très pure, mêlée avec de la bourre de veau blanche; elle doit être très légère, et à la consistance du plâtre à gobeter.

On fait avec la même matière des corniches de plafonds et des moulures de lambris.

Lorsqu'on veut peindre les enduits faits de blanc en bourre, il est bon de ne le faire qu'une année après leur exécution, et dans la belle saison.

Mastics. — *Mastic Dihl.* — Ce mastic s'emploie pour rejointoyer les dallages dans les lieux humides et les parements des maçonneries en pierres de taille destinées à être peintes à l'huile et exposées à l'action de l'air marin, comme celles des phares. Il est composé de gazettes de fabriques de porcelaines réduites en poudre et d'oxyde de plomb, dans les proportions suivantes :

Ciment de gazettes, en volume.....	0,92
Oxyde de plomb —	0,08

Ces matières sont triturées et mélangées avec de l'huile de lin. Les parties sur lesquelles on applique ce mastic doivent être nettoyées et séchées.

Mastic de limaille. — Ce mastic peut être employé aux mêmes usages que le précédent : la solidité et la dureté qu'il acquiert avec le temps sont incontestables; il n'est guère employé que pour les joints des tablettes de murs d'appui et ceux des dallages de rez-de-chaussée. Il est composé de 12 kilogr. de limaille de fer non oxydée, quelquefois mélangée de limaille de cuivre, et de 1kg,50 de sel, que l'on met infuser 24 heures dans 2 litres de vinaigre, auxquels on ajoute quelquefois un demi-litre d'urine et 4 aulx ; le mélange des matières donne un mastic qu'on emploie immédiatement (Voir plus loin *Peinture*).

Lattes. — On les emploie dans l'exécution des légers ouvrages en plâtrerie, pans de bois, cloisons, plafonds, et en général de tous les travaux en charpente qui doivent être recouverts d'une couche de plâtre, pour faciliter l'adhérence de cette matière et relier les petits matériaux de remplissage dont on peut faire usage. Dans les localités où l'on fait usage du blanc en bourre, les lattes s'emploient dans le même but que pour le plâtre.

Les lattes généralement employées à Paris ont $1^m,30$ de long, $0^m,030$ à $0^m,045$ de large et $0^m,005$ à $0^m,010$ d'épaisseur. On les livre au commerce par bottes, qui en contiennent 52. Il faut environ 19 lattes, déchet compris, pour faire 1 mètre carré à lattes jointives.

La *latte de cœur de chêne* est la meilleure ; on la reconnaît à la résistance qu'on éprouve pour la casser, à sa couleur brune foncée et à sa grande pesanteur. On doit l'employer pour la construction des plafonds, où leur position horizontale demande plus de rigidité et pour les pans de bois extérieurs, à cause de leur plus grande résistance aux intermittences de sécheresse et d'humidité.

La *latte blanche* peut être employée pour latter les cloisons légères et autres ouvrages intérieurs : elle est ordinairement en bois de chêne de qualité inférieure ou en châtaignier ; on la reconnaît à sa légèreté, à sa couleur presque blanche et à la facilité avec laquelle on peut la casser. Avant son emploi, il faut la laisser flotter ou séjourner dans l'eau, sans quoi les vers la piqueraient et la détruiraient.

Dans plusieurs localités, les lattes sont en sapin ou en peuplier, et elles ont de 4 à 5 mètres de longueur, $0^m,04$ de largeur et $0^m,005$ d'épaisseur. Parfois même, ce sont des planches, que l'on refend à la hachette pour permettre l'adhérence du plâtre ou du mortier.

Bardeaux. — On désigne ainsi des bouts de bois refendus bruts, qu'on pose sur les solives de planchers, pour recevoir l'aire en plâtre ou en mortier qui doit supporter le carrelage ou les lambourdes du parquet. Les dimensions des bouts de bardeaux varient en raison de l'écartement des solives ; celles ordinaires sont : $0^m,27$ à $0^m,40$ pour la longueur, $0^m,04$ à $0^m,05$ pour la largeur, et $0^m,07$ à $0^m,020$ pour l'épaisseur.

On fait aussi du bardeau en refendant des douves de tonneaux ou des planches très minces de bateaux.

Les bardeaux ordinaires ($0,04 \times 0,007 \times 0,40$) valent 5 fr. 50 à 6 francs le mille ; ceux en chêne ($0,04 \times 0,007 \times 0,27$ à $0,30$) valent 10 francs.

A défaut de bardeau on emploie, pour recevoir les aires de planchers, des lattes neuves ou vieilles, que l'on pose de toute leur longueur transversalement aux solives, sur lesquelles on les fixe au moyen de 3 lattes, placées en travers sur chaque longueur des premières et clouées de distance en distance avec des clous à bateau.

Il faut 50 bouts de bardeau ordinaire par mètre carré de plancher ; avec une vieille futaille, on peut faire du bardeau pour recouvrir $2^{m2},66$ de plancher. Quand l'aire est en plâtre, il faut que les bouts de bardeau faits avec des planches n'aient pas plus

de $0^m,07$ de largeur, sans quoi ils travailleraient sous l'influence de l'humidité du plâtre, et ils soulèveraient l'aire en différentes places.

Les **clous à lattes** sont à tige carrée et à tête très large; ils ont environ $0^m,028$ de longueur, et le kilogr. en contient 680. On les remplace souvent par des *clous d'épingle* de $0^m,027$ de longueur. Ces derniers fendent bien moins les lattes; mais les clous ordinaires, par l'effet de leur large tête, procurent une plus grande adhérence du plâtre au bois, quand on ne les enfonce pas tout à fait. Les clous d'épingle reviennent moins cher que les clous ordinaires; il en faut 1.000 pour 1 kilogr.

Si l'on emploie 4 clous ordinaires par latte, il en faut $0^{kg},25$ par botte de lattes, compris pertes et déchets, ou $94^{gr},00$ pour 1 mètre superficiel de lattis jointif; pour 5 clous par latte, ces poids deviennent respectivement $0^{kg},28$ et 105 gr.

Pour latter avec solidité sur des vieux bois de charpente, on emploie des clous d'épingle de $0^m,034$ de longueur, dont 820 pèsent 1 kilog.

Les **clous à bateaux** ont à peu près la même forme que les clous à lattes ordinaires; mais leurs dimensions sont plus fortes, ils ont $0^m,035$ à $0^m,040$ de longueur et une très large tête. On les emploie pour faire adhérer le plâtre au bois quand la forte charge rendrait le lattis ordinaire insuffisant.

Les **rappointis** sont de vieilles tiges de fer de différentes formes, que le serrurier a dressées et appointées; leur longueur varie de $0^m,06$ à $0^m,18$. On les emploie pour retenir le plâtre placé sous de très grandes charges. Dans les bandes de trémies on en larde les chevêtres; il en est de même des saillies d'entablements sur pans de bois. Dès que l'épaisseur des travaux de plâtre atteint $0^m,07$, il faut faire usage de rappointis.

Bois. — Voir *Charpente et Menuiserie.*

Fer [1]. — Le fer joue, chaque jour, un rôle de plus en plus important dans la construction où on l'emploie, surtout dans les parties horizontales, tandis qu'on fait les parties verticales en maçonnerie; le fer ou ses alliages est souvent combiné avec du béton de ciment pour planchers, etc.

Le fer s'emploie pour chaînes, tirants, ancres, étriers, boulons, dans la serrurerie, dans les planchers, supports, colonnes. Le fer laminé sert à faire de la tôle, du fer-blanc, etc. (chaudronnerie).

Pour s'assurer si le grain du fer est bon, on casse un barreau; un examen de la cassure permet aux connaisseurs d'en conclure si le métal est de la qualité voulue.

[1] Pour la résistance et le poids des fers et aciers, voir plus loin. Pour les propriétés, consulter l'*Aide-Mémoire des Ingénieurs*, t. I, p. 739.

Si, après avoir entamé avec un ciseau ou une lime le travers d'une barre de fer, on la pose ensuite à faux, en l'appuyant sur 2 soutiens éloignés l'un de l'autre et qu'on frappe, avec la partie d'un marteau formée en coin, sur l'endroit limé ou entaillé, si le barreau plie, s'il faut le retourner plusieurs fois avant qu'il se rompe, le fer est *doux;* s'il dégage beaucoup de chaleur en se rompant, c'est un autre indice de bonne qualité.

Si le marteau marque les empreintes sur ce fer et semble le pétrir, on en conclut qu'il sera doux, à froid du moins. Le fer aigre se brise sur-le-champ, et ne produit pas de chaleur bien sensible à l'endroit de la cassure.

Le fer absorbe l'oxygène à une température élevée et décompose l'eau quand il est rouge en fixant ce gaz.

Trois centimètres cubes de fer du Berry pèsent 153^{gr},12; 33 centimètres cubes pèsent 243^{kg},682, et forgé 283^{kg},925, à cause de la compression subie. La densité du fer à la température ordinaire est 7,6 à 7,8.

Le fer entre en fusion vers 1.500 à 1.600°; à cette température on peut le souder. Le *sable* fin est employé comme fondant pour préserver les soudures contre les brûlures.

Les *fers blancs* de Commentry, de 325 sur 244 millimètres, se vendent de 22 à 25 francs la caisse de 150 feuilles du poids de 31 kilogr. La caisse de 50 feuilles de 1 mètre sur 406 millimètres se vend 49 à 57 francs pour le poids de 64 kilogr.

Fontes. — Les fontes, produits bruts de la réduction des minerais de fer, combinaison de 2 à 6 de carbone pour 98 à 94 de fer, se moulent bien, mais ne se forgent pas et résistent moins que le fer à l'extension (densité ; 6,92 à 7,64).

Dans la construction, la fonte a été utilisée pour poutrelles de planchers, pour supports verticaux, colonnes, piliers à nervures, etc.; mais on préfère aujourd'hui les supports et piliers en fers laminés.

Les *prix des fontes* varient de 20 à 25 francs les 100 kilogr.

Aciers. — Les aciers sont des combinaisons de 1 à 1,5 de carbone pour 99 à 98,5 de fer. Ils supportent la trempe, mais restent malléables à chaud et à froid s'ils ne sont pas trempés (densité : 7,80).

Dans la construction on commence à employer l'acier pour planchers; il présente une résistance plus que double et une économie sensible sur le fer.

Le *prix des aciers en barres* ordinaires varie de 36 à 59 francs les 100 kilogr., selon la dureté et la qualité.

L'acier marchand se vend de 26 à 46 francs les 100 kilogr.

Cuivre (densité : 8,85 à 8,95). — Il sert surtout en serrurerie. Dans le nord de l'Europe on emploie la tôle de cuivre pour couvertures, gouttières et tuyaux de descente, à cause de sa longue

durée et de la facilité avec laquelle on la travaille. Les *chéneaux* en cuivre ont 3/4 de millimètre d'épaisseur.

Exposé à l'air, le cuivre se ternit par degré et se recouvre d'une croûte verdâtre d'oxyde de cuivre; cette croûte compacte protège le reste du métal contre toute autre attaque chimique.

Le cuivre n'est altéré par l'eau qu'avec le concours de l'air; la surface en contact avec l'eau se recouvre alors d'une croûte verte (*vert-de-gris*) de carbonate de cuivre.

Le cuivre écroui a une densité de 8,87.

Le cuivre vaut de 102 à 110 francs les 100 kilogr. en barres, 167 fr. 50 neuf en planches de cuivre rouge, et 145 francs neuf pour celles en cuivre jaune. Vieux, en reprise, il vaut de 62 à 98 francs les 100 kilogr.

Zinc (densité : 6,86 à 7,21). — Le zinc est blanc bleuâtre, brillant, cassant, mais il peut être laminé pour faire de la tôle. Le zinc s'oxyde très vite au contact du plâtre. On l'emploie pour couvertures et gouttières, pour enduits de peinture, pour ornements extérieurs, pour galvaniser le fer, etc. L'humidité le recouvre d'une croûte d'oxyde de zinc qui le préserve. Il est cassant à froid. Chauffé à 100°, il devient très malléable; il fond à 350°. Il se ternit vite à l'air et se noircit rapidement sous l'eau, en se combinant avec l'oxygène qu'elle contient. Le zinc est attaqué et dissous par la plupart des acides. Il ne faut pas l'employer pour couvertures exposées aux vapeurs humides qui feraient agir sur lui le tannin du bois.

Avec le cuivre, le zinc forme la soudure des chaudronniers.

Le zinc vaut de 42 à 47 francs les 100 kilogr. en lingots, et 68 francs laminé et ondulé.

Étain. — L'étain est un métal ductile, gris blanc, peu oxydable, employé pour fabriquer le fer-blanc, étamer le fer, souder le zinc et le plomb. La tôle de fer étamée a été utilisée pour gouttières (densité : 7,29; fusion à 230°).

L'étain vaut de 162 à 170 francs les 100 kilogr. en lingots, et 350 francs en feuilles.

Plomb. — Le plomb, blanc argenté ou bleu grisâtre, très brillant, est mou, ductile, résistant, s'oxyde très peu à l'air. Le plomb laminé sert dans la couverture, dans la maçonnerie pour scellements de fers, pour tuyaux d'eau et de gaz, etc. (densité : 11,35 ; fusion à 325°.

Avec l'étain, le plomb forme la *soudure* des plombiers et des ferblantiers.

On dépense environ 1/2 à 1 kilogr. de plomb pour sceller dans la pierre une barre de $2^{cm},6$; 1 à 1 kilogr. et demi pour sceller une barre de 4 centimètres carrés. Pour un crampon en pierre, il faut 3/4 de kilogr.

Pour 1 mètre carré de joint dans les clefs des arcs ou voûtes, il faut 100 à 125 kilogr. de plomb.

Le plomb vaut de 25 à 28 francs les 100 kilogr. en saumons, et 32 francs en tables ou tuyaux ordinaires.

Poids moyen, en kilogrammes, par mètre carré, des feuilles de divers métaux

ÉPAISSEUR en mm.	TOLE DE FER	FONTE	ACIER	CUIVRE	LAITON	PLOMB	ZINC (environ)
1	7,78	7,25	7,87	8,90	8,55	11,4	1,00
2	15,56	14,50	15,74	17,80	17,10	23,8	14,00
3	23,34	21,75	23,61	26,70	25,65	34,2	21,00
4	31,12	29,00	31,48	35,60	34,20	45,6	28,00
5	33,90	36,25	39,35	44,50	42,75	57,9	35,00
6	46,68	43,50	47,22	53,40	51,30	68,4	42,00
7	54,46	50,75	55,09	62,30	59,85	79,8	49,00
8	62,24	58,00	62,96	71,20	68,40	91,2	56,00
9	70,02	65,25	70,83	80,10	76,95	102,6	63,00
10	77,80	72,50	78,70	89,00	85,50	114,0	70,00
11	85,58	79,75	86,57	97,90	94,05	125,4	77,00
12	93,36	87,00	94,44	106,80	102,60	136,8	84,00
13	101,14	94,25	102,31	115,70	111,15	148,2	91,00
14	108,92	101,50	110,18	124,60	119,70	159,6	98,00
15	116,70	108,75	118,05	133,50	128,25	171,0	105,00
16	124,48	116,00	125,92	142,40	136,80	182,4	112,00
17	132,26	123,25	133,79	151,30	144,35	193,8	118,00
18	140,04	130,50	141,66	160,20	153,90	205,2	126,00
19	147,82	137,75	149,53	169,10	162,45	216,6	133,00
20	155,60	145,00	157,40	178,00	171,00	228,0	140,00

Fers (classification et prix, à Paris, compris transport) [1]

FERS MARCHANDS (exempts de droits d'octroi)	Prix les 100 kilogrammes au bois	mixte	au coke
1re classe	20 fr. 50	17 fr. 50	16 fr. 50
2e —	21 50	18 50	17 50
3e —	22 50	19 50	18 50
4e —	23 50	20 50	19 50

[1] D'après les cours officiels du *Moniteur général*.

Aplatis et feuillards (en millim.)	Prix pr 100 kilogr.
1re classe de 116 à 135 sur 4 1/2 et plus	19 fr. 50
— de 82 à 115 sur 3 1/2 —	
— de 62 à 81 sur 2 1/2 —	
— de 20 à 61 sur 2 —	
— de 14 à 19 sur 3 —	
2e classe de 136 à 160 sur 4 1/2 —	20 fr. 50
— de 116 à 135 sur 3 1/2 —	
— de 82 à 115 sur 2 1/2 —	
— de 20 à 81 sur 1 1/2 —	
— de 14 à 19 sur 2 —	
3e classe de 82 à 115 sur 1 1/2 —	21 fr. 50
— de 20 à 54 sur 1 —	
— de 14 à 19 sur 1 1/2 —	
— de 116 à 135 sur 2 1/2 —	
— de 136 à 160 sur 3 1/2 —	
— de 170 à 200 sur 4 1/3 —	
4e classe de 136 à 160 sur 2 1/2 —	22 fr. 50
— de 170 à 200 sur 3 —	
— de 220 à 250 sur 5 —	
5e classe de 220 à 250 sur 3 1/2 —	23 fr. 50
— de 14 à 19 sur 1 —	
Larges plats	
1re classe de 170 à 300 sur 11 et plus	18 fr. 50
2e classe de 170 à 300 sur 8 à 10 1/2.	19 fr. »
— de 301 à 400 sur 11 et plus	
3e classe de 170 à 300 sur 9 à 7 1/2	19 fr. »
— de 301 à 400 sur 9 à 10 1/2	
— de 401 à 500 sur 10 et plus	
4e classe de 301 à 400 sur 7 à 8 1/2	19 fr. »
— de 401 à 500 sur 7 à 9 1/2	
Gros ronds	
De 111 à 136 jusqu'à 6,00	20 fr. 50
De 137 à 150 — 5,00	21 50
De 152 à 165 — 5,00	23 50

FERS SPÉCIAUX (Non compris 3 fr. 60 de droits d'octroi)		Prix les 100 kil.
	Fers I à planchers (ailes ordinaires)	
1re et 2e séries.	De 80 à 160	17 fr. 50
	De 180 à 220	18 »
3e série	De 240 à 260	18 50
	Fers I (larges ailes)	
1re série, 7m	De 100 à 160 sur 60 à 84 millim.	18 fr. 50
	De 180 sur 70 à 78 millim.	
	De 120 millim., ailes inégales	
2e série, 7m	De 80, 170, 175, 180 et 220 sur 55 à 105 millim.	19 fr. »
	De 166 et 172 dissymétriques	
	De 200 sur 110 à 117 millim.	
3e série, 7m	De 160 sur 120 millim.	19 fr. 50
	De 160 sur 125 à 128 millim.	
	De 260 sur 117 à 122 —	
	De 235 sur 95 à 100 —	
	De 248 sur 127 et 131 —	
	De 250 dissymétriques sur 115 à 124 millim.	
4e série, 6m	De 300 sur 130 à 134 millim.	20 fr.
5e série, 6m	De 350 sur 150 à 152 —	21
Fers à barreaux, rails, cornières égales et inégales, à T simple, cornières doubles, à vitrage et à vasistas, à main courante, hexagones, etc.	1re classe	18
	2e —	19
	3e —	20
	4e —	21
	5e —	22
	6e —	23
	7e —	24
	Fers zorés	
Fers zorés jusqu'à 7 mètres de longueur		33 fr. 75

Pour les barres à I en acier, ajouter 1 franc par 100 kilogr.

Tôles (classification et prix, à Paris, *compris droits d'octroi de 2 fr. 40 par 100 kilogr. et transport*)

(Le poids du mètre superficiel de tôle de 1 millimètre d'épaisseur est de 8 kilogr.)

Tôles de construction	PRIX PAR 100 KILOGR. puddlées ordinaires	puddlées chaudières	Demi-fort	Fer fort	Fer fort supérieur	Forgées au bois	Acier doux
Tôles de 3 millim. et au dessus, d'un poids de 48 à 300 kilogr., la feuille :							
D'une longueur inférieure à 5 mètres.....							
D'une largeur inférieure à 1m,200, pour l'épaisseur de 3mm.....							
— — 1 300 — — 4							
— — 1 400 — — 5							
— — 1 500 — — 6 et plus	20 fr. »	22 fr. 50	24 fr. 60	28 fr. 50	32 fr. 50	39 fr. 50	24 fr. »
D'une surface inférieure à 3 » — — 3							
— — 3 500 — — 4							
— — 4 » — — 5							
— — 5 » — — 6 et plus							
Tôles de 2 à 2 3/4.....	22 fr. 50	24 fr. 50	26 fr. 50	30 fr. 50	34 fr. 50	41 fr. 50	25 fr. »

Tôles striées de 1m,50 à 2m,50 sur 0m,70 à 1m,50.....	Puddlées ordinaires.	20 fr. »
Tôles puddlées dérochées de 1m,650 sur 0m,650 pesant 7 k. et plus, la feuille.....	Les 100 kilogr.....	32 »
— — de 1 650 sur 0 650 pesant 4 et 4 k. 1/2 —	—	35 »
— — de 1 650 sur 0 650 pesant 3 et 5 k. —	—	38 »

Tôles du commerce		Puddlées	Douces
	Feuilles		
1re classe.	de 2 mètres sur 0m,80 de 20k et plus....	23 fr. »	26 fr. »
	— sur 1 » de 25 —		
	de 1m,66 sur 0 66 de 9 —		
	— sur 0 80 de 13 —		
2e classe.	de 2 mètres sur 0 80 de 16 à 19k.....	24 fr. 50	27 fr. 50
	— sur 1 » de 22 à 24		
	de 1m,66 sur 0 66 de 8 à 8,50		
	— sur 0 80 de 10k,50 à 12k,50..		
3e classe.	de 2 mètres sur 0 80 de 12 à 15k.....	27 fr. »	30 fr. »
	— sur 1 » de 15 à 21		
	de 1m,66 sur 0 66 de 5 à 7,75		
	— sur 0 80 de 6,50 à 10k....		
4e classe.	de 2 mètres sur 0 80 de 9 à 11k.....	29 fr. »	32 fr. »
	— sur 1 » de 12 à 14		
	de 1m,66 sur 1 66 de 4 à 4,75		
	— sur 0 80 de 5k,50 à 6k 1/4..		
5e classe.	de 2 mètres sur 0 80 de 7 à 8 1/2..	31 fr. 50	34 fr. 50
	— sur 1 » de 9 à 11 1/2..		
	de 1m,66 sur 0 66 de 3k,50 à 3k,75...		
	— sur 0 80 de 4 50 à 5 1/4..		

Tôles puddlées à tuyaux	Grises	Lisses
De 1m,33 sur 0m,325 pesant 1k,10, la feuille.....	29 fr. »	32 fr. »
— sur 0 352 — 1 25 —		
— sur 0 379 — 1 40 —		
— sur 0 406 — 1 55 —		
— sur 0 433 — 1 70 —		
— sur 0 460 — 1 85 —		

Tôles unies zinguées de commerce	Puddlées	Douces
1re classe.....	42 fr. 50	43 fr. 50
2e classe.....	44 50	46 50
3e classe.....	49 50	50 50
4e classe.....	55 50	57 50
5e classe.....	61 50	63 50

Tôles décapées (qualité supérieure)	Les 100 kilogr.
De 1 mètre sur 0m,65 pesant 4 kil. et plus.....	40 fr. »
De 1 mètre sur 0m,65 — 2 kil. à 3 kil. 3/4.....	42 »

Tôles ondulées	Noires	Zinguees
Petites ondes et moyennes :		
De 4 à 5 dixièmes de millim. d'épaisseur	35 fr. 50	38 fr. 55
De 6 à 7 — — —	32 50	52 50
De 8 à 10 — — —	30 50	48 50
De 11 à 15 — — —	28 50	46 50
Grande onde de 1 millim. 1/3 à 3 millim. d'épaisseur..	33 50	47 50

Ardoises métalliques (galvanisées)

Ardoises métalliques et agrafes servant à les réunir.....	98 fr. 50
Rivets et coins galvanisés, rondelles en plomb (pour pose des ardoises métalliques).....	134 50

Poids spécifiques ou densités des corps solides

(*Poids spécifique de l'eau à + 4° = 1*)

Acier de cémentation	7,26 à	7,80
Acier fondu	7,83 à	7,92
Acier puddlé	7,50 à	7,80
Aluminium fondu		2,56
» forgé		2,67
Antimoine	6,65 à	6,72
Ardoise		2,67
Argent fondu	10,11 à	10,47
» forgé	10,51 à	10,62
Argile grasse et humide (maximum)		2,85
Argile maigre et sèche (minimum)		1,52
Asphalte	1,07 à	1,16
Basalte		2,80
Bismuth		9,83
Bois, séchés à l'air :		
Aulne		0,50
Bouleau		0,74
Buis		0,95
Chêne		0,69
» fraîchement coupé		0,97
Ébène noir		1,19
» vert		1,21
Érable		0,67
Frêne		0,67
Gaïac		1,21
Hêtre		0,73
Liège		0,24
Mélèze		0,52
Noyer		0,66
Peuplier		0,39
Pin		0,47
Pin rouge		0,65
» fraîchement coupé		0,91
Pommier		0,73
Sapin		0,56
» fraîchement coupé		0,89
Tilleul		0,56
Brique	1,40 à	2,20
Bronze	8,30 à	8,60
Caoutchouc pur		0,93
» vulcanisé	1,25 à	1,75
Coke (poids spécifique absolu)		1,40
Coke, compris les vides		0,55
Craie		1,25
Cuivre fondu		8,57
» martelé	8,78 à	9,00
Étain		7,29
Feldspath (en moyenne)		2,50
Fer forgé	7,60 à	7,79
Fonte de fer	7,00 à	7,50
Glace à 0°		0,92
Granit		2,80
Grès		2,35
Houille	1,21 à	1,51
» en petits morceaux (compris les vides)	0,85 à	0,95
Houille en gros morceaux (compris les vides)	0,95 à	1,05
Laiton		8,55
Lignite		1,20
Maçonneries :		
de briques	1,47 à	1,70
de grès ou meulière	2,05 à	2,12
de moellons	2,40 à	2,46
Marbre	2,52 à	2,84
Métal des cloches		8,80
Or fondu		19,26
Or natif	18,60 à	19,10
Platine	21,15 à	21,70
Plomb		11,40
Quartz		2,62
Sel gemme		2,20
Terre argileuse grasse		2,10
» » sèche		1,90
» maigre		1,30
Verres :		
Cristal		2,89
Flint-glass		3,33
Glaces		2,46
Vitres		2,63
Zinc fondu		6,86
» laminé, jusqu'à		7,21
» » moyenne		7,00

Tourbe	sèche	0,51	»
	humide	0,78	»
Marne		1,57 à	1,64

Sable	fin et sec	1,40	1,42
	fin et humide	1,90	»
	fossile argileux	1,71	1,80
	de rivière, humide	1,77	1,85
Gravier cailloutis		1,37	1,48
Ciment de terre cuite		1,17	1,22
Mâchefer, scories de forges		0,77	0,98
Laitier vitreux		1,42	1,48
Pouzzolane	d'Italie	1,15	1,22
	du Vivarais	1,08	1,12
Trass de Hollande ou trass d'Andernach		1,07	1,08
Pierre ponce		0,55	0,92
Chaux	vive sortant du four	0,80	0,85
	éteinte, en pâte ferme	1,32	1,42
Mortier de chaux et de	sable	1,85	2,14
	ciment	1,65	1,71
	mâchefer	1,12	1,21
	laitier	1,85	1,94
Pierre à bâtir	tendre	1,14	1,71
	franche demi-roche	1,71	2,00
	liais doux et roche	2,14	2,28
	roches dures, liais	2,28	2,42
	très compacte, cliquart	2,49	2,71
Albâtres, marbres, brèches, lumachelles, brocatelles		2,19	2,87
Chaux fluatée, spath-fluor		3,08	3,18
Chaux fluatée, calcarifère, gypse ou pierre à plâtre crue et alabastrite		1,89	2,30
Plâtre cuit battu		1,19	1,22
— tamisé		1,24	1,25
Plâtre gâché humide		1,57	1,60
— sec		1,40	1,41
Béton de cailloux		2,48	»

CHAPITRE III

RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX

Résistance à la traction. — Lorsqu'un corps solide prismatique homogène est tiré dans le sens de sa longueur, il s'allonge d'une certaine quantité, variable pour chaque nature de corps, mais proportionnelle, pour une même matière, à la longueur de la pièce et à l'effort de traction, et inversement proportionnelle à la section transversale de cette pièce.

Cette loi, *très approximative*, n'est admissible qu'autant que la charge ne produit pas un allongement supérieur à celui que peut atteindre la pièce sans cesser de reprendre très sensiblement sa longueur primitive quand l'effort cesse son action. Ce plus grand allongement correspond à ce qu'on appelle *la limite d'élasticité*,

limite qu'il ne faut jamais dépasser, ni même atteindre dans la pratique.

Dans la limite d'élasticité on a, pour une tige prismatique homogène de 1 mètre de longueur et de 1 millimètre carré de section :

$$E = \frac{p}{i}, \quad \text{d'où} \quad i = \frac{p}{E} \quad \text{et} \quad p = iE. \qquad (1)$$

E, *coefficient* ou *module d'élasticité* de la matière dont la tige est formée ; c'est le rapport, constant jusqu'à la limite d'élasticité, de l'effort p qui tend à allonger la tige, à l'allongement i de la tige. Si la section de la tige était de 1 mètre carré, la valeur de E serait évidemment un million de fois plus grande.

Pour une tige prismatique d'une section A, d'une longueur L et soumise à une charge P, l'allongement I serait :

$$I = i \times \frac{P}{p} \times \frac{L}{1} \times \frac{1}{A} = \frac{PL}{EA}. \qquad (a)$$

La formule ci-dessus (1) donne, pour $i = 1$ mètre, $E = p$; il en résulte que le module d'élasticité d'une substance donnée est numériquement égal à la charge qui serait nécessaire pour doubler la longueur d'un prisme (par extension) de 1 mètre carré de section, si la loi de proportionnalité entre les charges et les allongements se prolongeait jusqu'à cette limite du phénomène d'extension.

Pratiquement, les allongements ne sont que des fractions très petites de la longueur primitive. Des considérations analogues concernant la compression conduiraient aux mêmes formules.

Nous donnons, page 180, les résultats d'expériences de Poncelet donnant les valeurs moyennes du module d'élasticité de diverses substances.

Module d'élasticité de quelques substances

DÉSIGNATION DES MATIÈRES	VALEUR DE E	VALEURS DE R qu'on ne doit pas dépasser dans la pratique par mètre carré
Chêne	1.200.000.000	550.000 à 750.000
Sapin jaune ou blanc	1.300.000.000	600.000 à 800.000
Arcs en planches	500 000.000	250.000 à 300.000
Fer doux forgé	20.000.000.000	6.000.000 à 10.000.000
Fer laminé en barres et tubes en tôle	12.000.000.000	4.700.000 à 7.800.000
Acier	21.000.000.000	12.500.000 à 16.600.000
Acier fondu	30.000.000.000	16.600.000 à 22.000.000
Fonte grise à grain fin	12.000.000.000	7.500.000 à 10.000.000
Fonte grise ordinaire, anglaise	9.000.000.000	5.600.000 à 7.500.000

Modules d'élasticité *calculés par Poncelet*

DÉSIGNATION DES CORPS	VALEUR de i	VALEUR DE p pour 1 millim. carré de section	VALEUR DE E pour 1 millim. carré de section
	m.	kil.	kil.
Chêne	$\frac{1}{600}=0,00167$	2,00	1.200
Sapin jaune ou blanc	$\frac{1}{850}=0,00117$	2,17	1.854
Sapin rouge ou pin	$\frac{1}{470}=0,00210$	3,15	1.500
Mélèze ou larix	$\frac{1}{520}=0,00192$	1,73	900
Hêtre rouge	$\frac{1}{570}=0,00175$	1,63	930
Frêne	$\frac{1}{885}=0,00113$	1,27	1.120
Orme	$\frac{1}{414}=0,00242$	2,35	970
Fers doux passés à la filière, de petites dimensions	$\frac{1}{1250}=0,00080$	14,75	18.000
Fers en barres	$\frac{1}{1520}=0,00066$	12,205	20.000
Acier, très bonne qualité, recuit à l'huile	$\frac{1}{835}=0,00120$	25,00	21.000
Acier fondu très fin, trempé, recuit à l'huile	$\frac{1}{4500}=0,000222$	66,00	30.000
Acier fondu, étiré	»	»	19.549
Acier fondu, recuit	»	»	19.561
Acier anglais en fil, étiré	»	»	18.809
Acier anglais en fil, recuit	»	»	17.278
Acier ordinaire recuit au blanc	»	»	18.045
Fonte de fer à grains fins	$\frac{1}{1200}=0,00083$	10,00	12.000
Fonte grise ordinaire, bonne qualité	$\frac{1}{1400}=0,00078$	6,00	9.096
Fils de cuivre, étirés	»	»	12.000
Fils de cuivre, recuits	»	»	10.500
Fils de laiton recuits	$\frac{1}{742}=0,00135$	15,00	10.000
Laiton fondu	$\frac{1}{1320}=0,00076$	4,80	6.450
Bronze de canon fondu	$\frac{1}{1590}=0,00063$	2,00	3.200

Effort de rupture par traction. — *Résultats d'expériences.* — L'effort P qui peut produire la rupture d'une pièce, en agissant dans le sens de sa longueur, est exprimé par la formule :

$$P = AR.$$

A, section transversale de la pièce ;

R, effort nécessaire pour rompre une tige de même matière que la pièce et dont la section est l'unité prise pour exprimer A.

Tableau des valeurs de R pour différentes substances

DÉSIGNATION DES MATIÈRES	VALEUR de R pour 1 millimètre carré de section	EFFORT d'une grande sécurité en pratique pour 1 mil. q.
BOIS [1]	kil.	kil.
Chêne dans le sens des fibres. fort	8,00	0,800
Chêne dans le sens des fibres. faible	6,00	0,600
Tremble, *id*	6,00 à 7,00	0,60 à 0,70
Sapin, *id*	8,00 à 9,00	0,80 à 0,90
Sapin des Vosges, *id*	4,00	0,400
Pin sylvestre des Vosges, *id*	2,48	0,248
Frêne, *id*	12,00	1,200
Frêne des Vosges, *id*	6,78	0,678
Orme, *id*	10,40	1,040
Orme des Vosges, dans le sens des fibres	6,99	0,699
Hêtre, *id*	8,00	0,800
Teak, *id.* employé aux constructions navales	11,00	1,100
Buis, *id*	14,00	1,400
Poirier, *id*	6,90	0,690
Acajou, *id*	5,60	0,500
Tremble des Vosges, *id*	7,20	0,720
Tremble, latéralement aux fibres (ou par glissement)	0,57	0,057
Sapin, latéralement aux fibres (ou par glissement)	0,42	0,042
Chêne, perpendiculairement aux fibres	1,60	0,160
Peuplier, *id*	1,25	0,125
Larix, *id*	0,94	0,094
Chêne ou sapin.... Pièces droites formées de morceaux assemblés par entailles en crémaillères	4,00	0,400
Chêne ou sapin.... Arcs en planches de champ ou en bois plié	3,00	0,300
MÉTAUX [2]		
Fer forgé ou étiré en barres.... Le plus fort, de petit échantillon.	60,00	10,00
Fer forgé ou étiré en barres.... Le plus faible, de très gros échantillon	25,00	4,16
Fer forgé ou étiré en barres.... Moyen	40,00	6,66

[1] Dans la pratique les pièces de bois ne peuvent être soumises à une traction permanente supérieure à 1/10 de celle de rupture ; cette faible charge est due aux altérations auxquelles les bois sont sujets : ainsi l'expérience a appris que le bois de chêne, qui résiste cependant bien aux intempéries des saisons, ne peut être exposé plus de 25 à 30 ans à l'air libre, à la manière des pièces de ponts, sans être renouvelé.

[2] Dans la pratique, il convient que la charge permanente des fers ne dépasse dans aucun cas 1/3 de la charge de rupture, et qu'elle n'en soit que 1/4 ou 1/5 et même 1/6 quand les constructions sont de grande durée, et que l'on n'est pas suffisamment éclairé sur la qualité et l'homogénéité des fers. Pour la fonte, la charge permanente ne doit jamais dépasser 1/4 de la charge de rupture, et encore doit-on éviter son emploi dans les constructions exposées à des chocs.

Le rapport des charges permanentes aux charges de rupture pour les autres métaux est le même que pour le fer ou la fonte, suivant que leur état se rapproche plus de celui de l'un ou de l'autre de ces métaux.

DÉSIGNATION DES MATIÈRES		VALEUR de R pour 1 millimètre carré de section	EFFORT d'une grande sécurité en pratique pour 1 mil. q.
		kil.	kil.
Fer ou tôle laminée..	Tiré dans le sens du laminage (Navier).....	41,00	7,00
	Tiré dans le sens perpendiculaire (Navier).....	36,00	6,00
Tôles fortes corroyées dans les deux sens.....		35,00	6,00
Fer dit *ruban*, très doux.		45,00	7,50
Fil de fer non recuit....	De Laigle, employé à la carderie, de 0,23 millimètre de diamètre.	90,00	15,00
	Le plus fort, de 0,5 à 1,0 millim. de diamètre.....	80,00	13,33
	Le plus faible, d'un grand diamètre	50,00	8,33
	Moyen, de 1 à 3 millim. de diamètre	60,00	10,00
Chaînes en fer doux [1]..	Ordinaires à maillons oblongs...	24,00	4,00
	Renforcées par des étançons....	32,00	5,33
Fonte de fer grise	La plus forte, coulée verticalement	13,50	2,25
	La plus faible, coulée horizontalement.....	12,50	2,08
Acier	Fondu ou de cémentation, étiré au marteau et en petits échantillons (1re qualité).....	100,00	16,67
	Le plus mauvais, en barres de très gros échantillons, mal trempé.	36,00	6,00
	Moyen.....	75,00	12,50
MATIÈRES DIVERSES [2]			
Basalte d'Auvergne.....		0,770	0,077
Calcaire....	de Portland.....	0,600	0,064
	blanc d'un grain fin et homogène.	0,144	0,0144
	à tissu compact (lithographique).	0,308	0,0308
Calcaire..	à tissu arénacé (sablonneux).....	0,229	0,0229
	à tissu oolithique (globuleux).....	0,137	0,0137
Roche de Bagneux, près Paris		0,151	0,0151
Pierre tendre, dite *vergelé*.....		0,073	0,0073
Briques..	de Provence, très bien cuites et d'un grain très uni.....	0,195	0,0195
	ordinaires, faibles.....	0,080	0,0080
	de Bourgogne, très dures.....	0,207	0,0207
	de Paris, bien cuites.....	0,119	0,0119
Plâtre ...	gâché ferme.....	0,117	0,0117
	id. moins ferme que le précédent.	0,058	0,0058
	id. fabriqué à la manière ordinaire.	0,040	0,0040
	au panier, gâché très serré.....	0,098	0,0098
	au sas, gâché moins serré que le précédent.....	0,070	0,0070
	au panier, gâché pour enduits (pas trop serré).....	0,049	0,0049

[1] La section d'une chaîne est la somme des sections des deux côtés du maillon.

[2] Ces matières ne sont employées qu'accidentellement pour résister à l'extension ; la charge permanente qu'il convient de leur faire supporter est de 1/10 de la charge de rupture.

DÉSIGNATION DES MATIÈRES		VALEUR de R pour 1 millimètre carré de section	EFFORT d'une grande sécurité en pratique pour 1 mil. q.
		kil.	kil.
Mortier..	en chaux hydraulique des buttes Chaumont, près Paris, un an après son emploi	0,071	0,0071
	en chaux grasse et sable, âgé de 14 ans	0,042	0,0042
	en chaux grasse, mauvais	0,0075	0,00075
	en chaux hydraulique ordinaire et sable	0,0900	0,0090
	en chaux éminemment hydraulique	0,1500	0,0150
	en ciment de Pouilly et sable (parties égales), après un an de durcissement dans l'air ou dans l'eau	0,096	0,0096
	en ciment de Vassy et sable (parties égales), après six mois de durcissement à l'air	0,0962	0,00962
	en ciment de Vassy et sable (parties égales), après un an de durcissement dans l'eau, aux enduits des radiers des égouts de Paris	0,151	0,0151
	en ciment de Vassy (pur), après un an de durcissement dans un massif de fondation humide	0,207	0,0207
	en ciment de Vassy (pur), après un mois de durcissement dans l'eau de mer	0,113	0,0113
	en ciment de Vassy et sable (parties égales), après un mois de durcissement dans l'eau de mer	0,085	0,0085

Résistance à l'écrasement et poids du mètre cube des matériaux. — *Pierres naturelles et pierres artificielles.* — Les pierres peuvent être considérées, dans la pratique, comme incompressibles sous la pression; mais, sous une charge suffisante, les plus dures se divisent tout à coup avec éclat en lames ou aiguilles de faible résistance, et les plus tendres se partagent en deux pyramides ayant pour bases les faces inférieure et supérieure de la pierre chargée, et dont les sommets sont situés vers le centre de cette pierre; les parties latérales sont chassées au dehors et se réduisent en aiguilles ou en petits prismes. La cohésion des molécules étant détruite quand les pierres commencent à se fendiller, phénomène qui se produit dès que la charge dépasse un peu la moitié de celle d'écrasement, il est évident que c'est à ce point qu'on doit fixer la limite à atteindre, et que, pour des appuis isolés surtout, il faut se tenir au-dessous de cette limite.

Les matériaux résistent mieux sous forme de monolithes que

Tableau des poids du mètre cube de différents matériaux employés dans les ouvrages de maçonnerie, et des charges, par centimètre carré de section, qui écrasent ces matériaux après un temps très court. — Les résultats accompagnés d'un astérisque ont été trouvés en opérant sur des cubes ayant de 1 à 2 centimètres d'arête; les autres ont été fournis par des cubes de 3 à 5 centimètres d'arête.

DÉSIGNATION DES MATÉRIAUX	POIDS d'un mèt. cube	CHARGE produisant l'écrasement
PIERRES VOLCANIQUES, GRANITIQUES, SILICEUSES ET ARGILEUSES	kil.	kil.
Basaltes de Suède et d'Auvergne	2.950	2.000
Porphyre	2.870	2.470
Granit vert des Vosges	2.850	620
— gris de Bretagne	2.742	650
— de Normandie (Flamanville)	2.711*	707*
— gris des Vosges	2.643	420
Grès dur de Fontainebleau	2.570*	895*
Grès tendre	2.491	4
Pierre porc ou puante (argileuse)	2.663	680
Pierre grise de Florence (argileuse à grain fin)	2.561	420
Pierre meulière de Châtillon, près Paris (compacte)	2.423	»
PIERRES CALCAIRES		
Marbre noir de Flandre	2.722	790
Marbre blanc veiné, statuaire et turquin	2.694	310
Pierre noire de Saint-Fortunat, très dure et coquilleuse	2.653	630
Roche de Châtillon, près Paris, dure et peu coquilleuse	2 292	170
Roche de la Butte-aux-Cailles	2.400*	325*
Liais de Bagneux, près Paris, très dur, à grain fin	2.443	440
Roche douce de Bagneux, près Paris	2.085	130
— d'Arcueil, près Paris	2.304	250
— de Saint-Nom, près Versailles	2.391*	263*
Pierre de Saillancourt, près Pontoise, 1re qualité	2.413	140
— — 2e qualité	2.101	90
Pierre ferme de Conflans, employée à Paris	2.077	90
Pierre tendre (lambourde et vergelé), employée à Paris, résistant à l'eau	1.822	60
Pierre tendre de Carrière-sous-Bois, près Saint-Germain, remplaçant le vergelé	1.791*	58*
Lambourde de qualité inférieure, résistant mal à l'eau	1.564	20
Calcaire dur de Givry, près Paris	2.362	310
Calcaire tendre de Givry, près Paris	2.070	120
Calcaire jaune oolithique de Jaumont, près Metz. 1re qualité	2.201	180
Calcaire jaune oolithique de Jaumont, près Metz, 2e qualité	2.009	120
Calcaire jaune d'Amanvilliers, près Metz, 1re q.	2.001	120
id. *id.* 2e qualité	2.007	100
Pierre de roche de Château-Landon	2.632*	350*

DÉSIGNATION DES MATÉRIAUX	POIDS d'un mèt. cube	CHARGE produisant l'écrasement
	kil.	kil.
Roche vive de Saulny, près Metz (non rompue).	2.481	300
Roche jaune de Rosérieulle, près Metz.....	2.400	180
Calcaire bleu à gryphite, donnant les chaux hydrauliques de Metz (non rompu).....	2.600	300
BRIQUES		
Briques bien cuites de Bourgogne.....	2.195*	150*
id. de Sarcelles.....	1.997*	125*
Briques d'une cuisson ordinaire, de Montereau.	1.780*	110*
Briques rouges de pays (Paris).....	1.520*	90*
PLATRE ET MORTIER		
Plâtre au panier, gâché très serré, trente heures après l'emploi.....	1.571	52
Plâtre au panier, gâché avec du lait de chaux.	»	73
Mortier ordinaire de chaux et sable, après six mois d'emploi.....	1.651	35
Mortier ordinaire de chaux et ciment de tuileaux.	1.465	48
id. et de grès pilé.....	1.683	29
Mortier de pouzzolane de Naples ou de Rome.	1.462	37
Mortier en ciment des démolitions de la Bastille.	1.491	55
Mortier en ciment de Vassy avec moitié sable, quinze jours après le gâchage.....	2.110*	155*
Béton en mortier de chaux hydraulique, six mois après la fabrication.....	1.851	41
D'APRÈS LES EXPÉRIENCES DE VICAT, SUR DES CUBES DE 1 CENTIMÈTRE DE CÔTÉ		
Pierre calcaire à tissu arénacé (sablonneuse)..	»	94
id. à tissu oolithique (globuleuse).....	»	106
id. à tissu compact (lithographique)..	»	285
Brique crue ou argile séchée à l'air libre.....	»	33
Plâtre ordinaire, gâché ferme.....	»	90
Plâtre moins ferme que le précédent.....	»	42
Mortier en chaux grasse et sable ordinaire, âgé de 14 ans.....	»	19
Mortier en chaux hydraulique ordinaire.....	»	74
id. éminemment hydraulique..	»	144
D'APRÈS LES EXPÉRIENCES FAITES AU CONSERVATOIRE DES ARTS ET MÉTIERS		
1° *Pierres calcaires*		
Roche de Bagneux...(cubes de 0m,06 sur 0m,06).	2.777	731
Laversine..... *id*.....	2.546	572
Vitry..... *id*.....	2.453	484
Moulin..... *id*.....	2.296	249
Saint-Nom..... *id*.....	»	432
Forgel..... *id*.....	2.245	244
Marly-la-Ville.....(cubes de 0m,082 sur 0m,082).	2.065	246
Vergelé-Ferré..... *id*.....	1.887	125
Abbaye-du-Val..... *id*.....	1.727	64,3
Banc-Royal de Merry. *id*.....	1.722	61,5
Vergelé fin..... *id*.....	1.497	41,9
Lambourde..... *id*.....	1.696	36,4
Calcaire de Caumont (Eure)..... *id*.....	2.020	424

DÉSIGNATION DES MATIÈRES		POIDS d'un mêt. cube	CHARGE produisant l'écrasement
2° *Grès bigarré des Vosges*		kil.	kil.
Niéderwiller.....	(cubes de 0m,082 sur 0m,082).	2.170	460
Witzbourg.....	*id*.....	»	412
Bréménil.....	*id*.....	»	442
Kibolo.....	*id*.....	»	419
Archeviller.....	*id*.....	»	362
Merwiller.....	*id*.....	»	294
3° *Cubes artificiels en plâtre et silice*			
Plâtre silicaté sans cailloux	(cubes pleins de 0m,20 de côté).	»	49,50
id. avec cailloux	(cubes pleins de 0m, 20 de côté).	»	64,32
id. sans cailloux	cubes de 0m,20 de côté évidés de manière à diminuer de 1/4 la section résistante.	»	58,38
id. avec cailloux		»	66,77

lorsqu'ils sont superposés en cubes de même dimension totale que ce dernier ; la résistance peut varier presque du simple au double (voir plus loin).

La résistance des pierres à l'écrasement est proportionnelle à leur densité et à leur section transversale ; elle augmente quand la section se rapproche du cercle.

Pour trois cubes superposés, Rondelet a trouvé la résistance réduite aux deux tiers environ, effet que diminue l'interposition du mortier ; et, d'après Vicat, un cube de 0m,03 de côté perd 1.6 de sa force quand il est formé de huit petits cubes, et 1/5 quand il se compose de quatre prismes égaux posés à joints recouverts.

Dans la pratique on fixe la charge permanente au 1/10 de celle qui produit la rupture de la pierre ; dans les constructions les plus légères elle ne dépasse pas 1/6, et, dans les constructions en moellons ou en petits matériaux, on la réduit quelquefois au 1/15 et même au 1/20 ; il en est de même pour les supports isolés dont le rapport de la hauteur à la plus petite dimension de la section transversale est très grand ; il convient, du reste, que ce rapport n'atteigne pas la valeur 12.

La résistance du mortier de ciment de Vassy à la pression a été, en outre, constatée par Gariel et Garnier, en écrasant des prismes de 0m,16 de longueur, 0m,08 de largeur et 0m,054 d'épaisseur, fabriqués depuis deux ans et demi et étant constamment restés à l'air. Dix expériences successives ont donné pour limites supérieure et inférieure de résistance 197 et 121 kilogr., et en

moyenne 150 kilogr. par centimètre carré. Si ces prismes étaient restés pendant le même temps dans l'eau ou dans une terre humide, leur résistance aurait été plus grande de 1/5 environ.

Poids du mètre cube de quelques matériaux

DÉSIGNATION DES MATÉRIAUX	POIDS DU MÈTRE CUBE de	POIDS DU MÈTRE CUBE à
	kilogr.	kilogr.
Terre végétale	1.214	1.285
Argile et glaise	1.656	1.756
Sable fin et sec	1.399	1.428
— humide	1.900	»
— de rivière humide	1.717	1.856
Gravier et cailloutis	1.371	1.485
Ciment de tuileaux	1.171	1.228
Chaux hydraulique vive sortant du four	800	857
— — éteinte en pâte ferme	1.328	1.428
— — éteinte en poudre	650	700
Pierre à plâtre ordinaire	2.168	»
Pierre à ciment de Vassy	2.500	»
Plâtre cuit passé au panier	1.200*	1.270*
L'eau pour le gâcher pèse	397*	415*
Plâtre gâché, vingt-quatre heures après l'emploi	1.577*	1.600*
— deux mois après l'emploi	1.390*	1.410*
L'eau vaporisée pèse	171	186
— combinée par cristallisation pèse	157	»
Meulière de Corbeil	1.080	1.115
Moellon dur d'Arcueil	1.025	1.140
— de Nanterre	820	900
Maçonnerie fraîche de moellons	2.230	2.250
— de briques	1.860	1.890
Bitume ou asphalte	1.000	1.600
CARREAUX DE PLATRE ET PLATRAS	Un carreau	
Épaisseur.	humide	sec
Pour cloisons légères, de 0m,487 sur 0m,325 — 0m,068	15	12
— 0 ,081	18	15
— 0 ,095	21	17
— 0 ,108	23	20
Longueur. Largeur. Épaisseur.	Le cent de compte	
Briques de Bourgogne.. 0m.226 0m.108 0m,054.	241	428
Briques de Montereau.. 0 .217 0 ,108 0 ,050.	208	214
Briques de Sarcelles.... 0 .210 0 .088 0 ,047.	180	184
Brique flottante composée de farine volcanique... 0 ,189 0 ,115 0 ,045.	44	»
Carreaux de 0m,162, à six pans, de Bourgogne	84	»
— — — de Sarcelles	74	»

D'après Vicat, une maçonnerie de cinq mois peut supporter, sans altération, 200.000 kilogr. par mètre carré pour un appareil en pierre de taille, et 40.000 kilogr. pour un massif en moellons bien gisants et mortier médiocrement hydraulique.

Lorsqu'il s'agit d'une maçonnerie de voûte, les coefficients de Vicat doivent être réduits au quart.

Déjardin a donné les valeurs suivantes du coefficient de *résistance pratique à l'écrasement*, par mètre carré, selon les diverses espèces de maçonneries, qui peuvent être adoptées pour l'établissement des voûtes, savoir :

Maçonnerie en moellons informes, en béton..	5.000	kilogr.
— — dits *pendants*.....	10.000	—
— — équarris, bien posés.	20.000	—
— — appareillés en coupe.	30.000	—
— en pierres de taille appareillées...	50.000	—

Stabilité des massifs de maçonnerie. — M. A. Souleyre, ingénieur des Ponts et Chaussées, a publié[1] les résultats des expériences qu'il a faites, avec M. Anglade, à Constantine, de 1887 à 1894; nous les résumons ici.

Résistance a l'extension. — a) *Mortiers de chaux. — Influence des différents éléments qui entrent dans la composition du mortier.* — Les éprouvettes normales étaient faites avec de la chaux du Teil et du sable siliceux de Philippeville, ou avec du sable calcaire fabriqué au granulateur.

Dosage de la chaux. — On a constaté que le maximum de résistance correspond à un dosage compris entre 800 et 1.000 kilogr. au mètre cube, mais qu'à 600 kilogr. on en est très voisin. A 400 kilogr. même, on obtient, à 2 ans, les 3/4 du maximum. La résistance décroît quand on diminue le dosage. La supériorité des forts dosages va en s'accentuant avec l'âge.

Sable. — Les solides calcaires artificiels donnent des résistances au moins égales à celles obtenues avec le sable quartzeux de Philippeville, qui est un excellent sable naturel.

Les sables marneux donnent des résistances extrêmement variables. Le maximum de résistance, avec du sable calcaire artificiel, se produit pour du tout-venant passant au crible de 9 millimètres; la résistance ne varie presque pas lorsqu'on passe du tout-venant à crible de 6 millimètres au tout-venant à crible de 12 millimètres.

Eau. — La quantité d'eau employée au gâchage exerce sur la résistance une action plus sensible en pays secs qu'en pays humides. Mais c'est surtout le degré d'humidité de l'atmosphère qui influe sur les résultats. En pays très secs la résistance du mortier conservé à l'air peut tomber au cinquième de celle du mortier conservé dans l'eau.

L'influence du premier âge est des plus sensibles : des éprouvettes faites en temps sec restent de longs mois à fournir des résistances inférieures à celles d'éprouvettes faites en temps

[1] *Génie civil* des 9 et 16 novembre 1895.

humide. En revanche, ces éprouvettes faites en temps sec gardent la faculté, même au bout de 2 ans, de prendre toute la résistance des briquettes faites en temps humide, quand on les plonge dans l'eau.

Les éprouvettes mises dans l'eau douce ont des résistances très régulières, tandis que celles conservées à l'air sec donnent des résultats très irréguliers, avec des accidents fréquents. Les briquettes mises alternativement à l'air et à l'eau douce (intervalle de six mois et d'un an) ont une résistance limite qui tend vers celle des éprouvettes conservées dans l'eau, mais avec des oscillations en plus ou en moins.

A l'air sec, pendant l'été, des briquettes ont pu perdre de 5 à 10 0/0 de leur poids d'eau. En hiver, elles s'alourdissent. Mais c'est surtout quand on les laisse dans l'eau que leur augmentation de poids est considérable.

Dans l'eau de mer les résistances des premiers mois paraissent plus fortes que dans l'eau douce.

Age. — Dans l'eau douce la résistance croît très régulièrement avec l'âge, en se rapprochant du maximum, qui se trouve presque atteint à 2 ans.

A l'air libre, en pays secs ou dans l'eau de mer, la résistance peut croître en présentant des oscillations très marquées.

Température. — Entre 0° et 40°, on n'a pas constaté que la température exerçât quelque influence.

Entre 0° et — 10°, on a constaté que le froid arrêtait la prise du mortier, mais que la prise recommençait avec l'élévation de température.

Valeurs absolues. — Les briquettes normales de mortier, à 400 kilogr. de chaux du Teil pour 1 mètre cube des meilleurs sables, ont donné, conservées dans l'eau douce, une résistance limite de 18 à 20 kilogr. par centimètre carré. Les briquettes avaient la forme du double T, qui accuse des résistances inférieures à celles observées avec des briquettes de formes arrondies (type Michaëls). La résistance réelle peut être évaluée de 22 à 25 kilogrammes.

b) *Bétons.* — Les éprouvettes de bétons avaient la forme d'un double T. Le béton était fait à $0^{m3},55$ de mortier, pour $0^{m3},80$ de pierres calcaires passées à l'anneau de $0^{m},04$. La section de rupture avait $0^{m},08$ sur $0^{m},08$.

Le mortier était à 400 kilogrammes de chaux pour 1 mètre cube de sable.

Le rapport de la résistance du béton à celle du mortier décroît avec le temps.

Pour les briquettes, ce rapport décroissait : dans l'eau, de 1 à 1/2, la limite 1/2 étant atteinte en 2 ou 3 ans ; à l'air libre, ou pour les briquettes mises alternativement dans l'eau ou à l'air, de

par centimètre carré, accusée par les briquettes conservées dans l'eau, soit à une résistance absolue réelle de 12 kilogrammes par centimètre carré.

A l'air sec ou avec de mauvais sables la résistance peut tomber à zéro.

c) *Maçonneries.* — Les bétons (au moins ceux de pierres calcaires) résistent moins que les mortiers. Les maçonneries, étant des agrégats de pierre encore plus maigres en chaux que les bétons, résistent encore moins qu'eux.

En fabriquant simultanément des poutres en mortier, en béton et en maçonnerie, ainsi que des briquettes en mortier et en béton, on a trouvé à l'air sec, pour valeur du rapport (à 9 mois), entre la résistance réelle de ces agrégats et la résistance accusée par le calcul de la rupture des poutres (calcul fait comme pour des poutres métalliques) : 0,9 pour le mortier, et 1/2 pour le béton.

Le rapport diminuait en passant du mortier au béton ; pour la maçonnerie, il était donc au plus égal à 1/2. D'autre part, on sait que ce rapport a pour limite inférieure 1/3.

Le calcul donnant $2^{kg},30$ pour résistance apparente dans notre cas, la résistance réelle était comprise entre $2^{kg},3 \times \frac{1}{2} = 1^{kg},15$ et $2^{kg},3 \times \frac{1}{3} = 0^{kg},77$. Elle n'était que la moitié de celle du béton.

Dans l'eau, à 6 mois on a constaté une résistance de 5 à 6 kilogr., soit des 6/10 de celle du béton.

La résistance limite des maçonneries à moellons calcaires et à mortier à 400 kilogr. de chaux du Teil, avec un excellent sable, serait donc voisine de 6 à 7 kilogr.

d) *Mortiers et bétons de ciment.* — Les expériences ont porté sur les ciments de *grappiers*, les plus riches en silice. Les ciments de laitier, très alumineux, ne se comportent bien que dans l'eau. On a essayé le ciment de grappiers de Portland du Teil, qui est un silicate de chaux presque pur et qui se comporte aussi bien à l'air libre qu'à l'eau.

La résistance des mortiers croît avec le temps ; elle augmente d'abord très rapidement, mais à 2 ans elle a pris presque toute sa valeur.

Les mortiers à 500 kilogr., avec du bon sable, résistent autant que le ciment pur. A 2 ans, leur résistance limite était de 21 kilogr.

Le rapport de la résistance des briquettes de béton à celle des briquettes de mortier (à 500 kilogr.) a été, de 35 jours à 5 ans, très peu différent de 0,6 ; ce qui correspondrait à une résistance limite de 18 kilogr. pour les bétons.

En tenant compte de l'influence de la forme de la briquette, 1 à 1/3. Cela correspond à une résistance d'une dizaine de kilogr.

la résistance absolue limite serait voisine de $18^{kg} \times \frac{5}{4} = 22^{kg},5$.

Le rapport limite de la résistance du béton à celle du mortier étant plus élevé pour le ciment que pour la chaux (0,6 au lieu de 0,5 dans l'eau), le rapport limite de la résistance de la maçonnerie à celle du béton doit être également un peu plus fort. La résistance absolue des maçonneries à l'extension doit être voisine de 22 kilogr. $\times$ 0,6, soit de 13 ou 14 kilogr.

Résistance a la compression. — Lorsque le rapport de la hauteur d'une éprouvette au côté d'une base carrée décroît en partant de 1 pour arriver à des valeurs très petites, la résistance croît. La résistance des joints de mortier ne ressemble en rien à celle des cubes de même mortier. Il est impossible de réaliser, dans les expériences, les conditions où se trouve, en pratique, le joint de mortier.

Joints de mortier. — M. Tourtay a constaté, en 1885, que la résistance des joints de mortier va en croissant à mesure que diminue leur épaisseur et qu'en particulier les coulis de ciment ne se désagrègent pas avant les blocs de pierre dure qui leur transmettent la pression (700 à 800 kilogr. par centimètre carré).

On a étudié exclusivement des joints d'une épaisseur initiale de 12 millimètres, épaisseur de la pratique avec blocs en forme de demi-cubes, à bases de $0^m,06$, $0^m,10$ et $0^m,15$.

Avec du mortier à 400 kilogr. de chaux pour 1 mètre cube de sable, les joints, conservés dans l'eau, résistent à des pressions de plus de 300 kilogr. par centimètre carré, pour des blocs de $0^m,10$ à 6 mois. La pression d'écrasement, rapportée au centimètre carré, diminue quand les dimensions des blocs diminuent. A l'air sec, les résistances diminuent.

Blocs en béton. — Des blocs en béton, en forme de cubes de $0^m,15$ de côté (mortier à 400 kilogr. de chaux) ont donné à l'air libre une résistance limite de 60 à 70 kilogr.; dans l'eau, 90 à 100 kilogr. par centimètre carré.

La résistance ne dépend pas de la nature de la pierre, hormis le cas d'emploi de pierres tendres, car la rupture se produit par désagrégration du mortier.

Les blocs en béton de ciment (mortier à 500 kilogr.) ont donné une résistance limite de 180 kilogr.

Maçonneries. — A l'inverse de ce qui se produit pour l'extension, les bétons résistent à la compression mieux que les mortiers (en éprouvettes cubiques). La résistance des maçonneries doit donc être du même ordre de grandeur que celle des bétons et lui être plutôt supérieure.

Élasticité a la compression. — On s'est servi d'appareils presque analogues à ceux de Durand-Claye et Klein.

Les compressions étaient produites avec une presse hydraulique.

Pour les bétons, la limite d'élasticité correspond à une fraction de la charge de rupture comprise entre $\frac{1}{2}$ et $\frac{4}{5}$ suivant l'âge, la nature et le mode de conservation.

Dans les bétons de chaux hydraulique (mortier à 400 kilogr. de chaux du Teil, bons sables), conservés dans l'eau, ce rapport varie de $\frac{1}{2}$ $\frac{4}{5}$ suivant la qualité du sable, ce qui correspond à 45 ou 75 kilogr. par centimètre carré, à 2 ou 3 ans.

Pour les bétons conservés à l'air, le rapport peut tomber à 0,30. Toutefois, comme l'air ne se maintient pas toujours à l'état sec, on arrive, au bout de quelques années, à 30 kilogr. par centimètre carré.

A l'air sec, le coefficient d'élasticité peut être 3 ou 4 fois plus faible que dans l'eau.

La réduction du dosage produit le même effet que la conservation à l'air sec et augmente beaucoup la compressibilité.

Bétons de Portland. — Pour les bétons de Portland du Teil (à 500 kilogr.), le rapport de la limite d'élasticité à la charge de rupture est voisin de 0,6. A 2 ou 3 ans, avec les bons sables, la valeur est voisine de 110 kilogr. La compressibilité est moindre que pour les bétons de chaux.

Joints de mortier. — Pour les joints de mortier dans l'eau (12 millimètres), la limite d'élasticité, à 2 ou 3 ans, dépasse 70 kilogr.

ÉLASTICITÉ A L'EXTENSION. — Le rapport de la limite d'élasticité à la charge de rupture est compris entre $\frac{1}{2}$ et $\frac{4}{5}$ pour les bétons de 2 à 3 ans conservés dans l'eau, soit 6 à 10 kilogr. ; pour les maçonneries de choix, dans l'eau, on trouve $3^{kg},5$ à 5 kilogr.

Pour les bétons de ciment, la limite d'élasticité serait voisine de 15 kilogr. ; pour les maçonneries, voisine de 10 kilogr.

Pour les éprouvettes conservées à l'air, on a trouvé des coefficients d'élasticité du même ordre que pour celles conservées dans l'eau.

Pour les bétons faits avec du mortier à 250 kilogr., les déformations d'extension sont aussi du même ordre que pour les bétons de mortier à 400 kilogr.

Rapport des deux coefficients d'élasticité. — Tant que les limites d'élasticité ne sont pas dépassées de part et d'autre, les deux coefficients d'élasticité sont du même ordre de grandeur.

Si on appelle K le rapport du coefficient à la compression au coefficient à l'extension, on trouve un nombre compris entre 1

et $\frac{1}{10}$ pour les bétons de chaux hydraulique, à 2 ans ; le rapport est d'autant plus faible que le dosage est moins fort, que les bétons sont conservés dans un air plus sec. Pour de faibles dosages, K peut même descendre au-dessous de $\frac{1}{10}$ et de $\frac{1}{20}$.

Pour le béton de ciment (mortier à 500 kilogr.), on trouve des valeurs de K, voisines de l'unité.

Les coefficients d'élasticité doivent être du même ordre de grandeur pour les maçonneries que pour les bétons.

Le nombre K doit atteindre, pour les maçonneries, des valeurs voisines de celles ci-dessus, même un peu plus faibles.

On a même trouvé, pour les maçonneries de moellons bruts, un coefficient d'élasticité à l'extension plus fort que pour les bétons.

Lorsque la limite d'élasticité à l'extension est dépassée sans que la limite à la compression soit atteinte, — cas qui se produit dans un massif de maçonnerie lorsque la résultante s'éloigne trop du milieu de la base, — les allongements d'extension deviennent décuples et centuples de ce qu'ils étaient primitivement, et le rapport K peut arriver à des valeurs voisines de 10 et de 100.

Déformation des surfaces. — Les sections planes, dans les formules usuelles, sont considérées comme restant planes après leur déformation. En pratique, cette hypothèse reste approximativement exacte dans les cas usuels, du moins lorsque la résultante est peu inclinée sur la section. Mais, en réalité, la ligne déformée doit généralement se cintrer au droit du point d'application de la résultante et s'éloigner d'autant plus de la forme plane que cette résultante sera plus oblique à la section considérée.

Forme des ouvrages. — M. A. Souleyre conclut de ses expériences et recherches que les profils des murs devraient être calculés, non pour un travail constant à la compression, mais pour un effort d'extension constant égal à une fraction déterminée de la limite d'élasticité.

Quand le parement d'amont d'un mur de soutènement de longueur indéfinie est rectiligne, le parement d'aval est également rectiligne (sauf à tracer souvent en pratique des redans qui épousent la ligne droite).

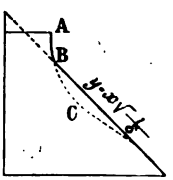


Fig. 37.

Le calcul montre, pour un *barrage-réservoir*, que le profil le plus économique correspond au cas où le parement d'amont est en surplomb, c'est-à-dire pratiquement au cas où ce parement d'amont est vertical.

Le profil de moindre dépense est un profil triangulaire (*fig.* 37)

défini du côté d'aval par la droite $y = x\sqrt{\frac{1}{\delta}}$, δ étant la densité de la maçonnerie. En pratique, le mur a un couronnement horizontal. On le raccordera avec la droite y par une verticale et une courbe.

Cohésion et adhérence des mortiers. — Frottement. — D'après Rondelet, la force de cohésion des mortiers et ciments est le 1/8 environ de leur résistance à l'écrasement, et leur adhérence pour les pierres et pour les briques surpasse leur force de cohésion. Admettant ce rapport, et 85 kilogr. pour la résistance à l'écrasement du mortier ordinaire, on trouve pour la force de cohésion, $4^{kg},37$. La force avec laquelle du plâtre gâché adhère aux briques et aux pierres est les 2/3 seulement de sa propre force de cohésion; ainsi, cette force étant de $4^{kg},90$, on a pour celle d'adhésion $4,90 \times \frac{2}{3} = 3^{kg},27$ environ. Cette adhésion est plus grande néanmoins pour les pierres meulières et les briques que pour les pierres calcaires ; comme nous l'avons déjà dit page 158, au lieu d'augmenter avec le temps, comme pour le mortier, elle diminue beaucoup.

Pour les mortiers de ciment Gariel, on a remarqué que la gangue de ciment pur présentait la résistance maxima, et que cette résistance diminuait à mesure que la quantité de sable ajoutée pour la confection du mortier augmentait.

Frottement. — Lorsqu'un corps se meut en s'appuyant sur un autre en repos ou ayant un mouvement différent du premier, il naît une résistance, appelée *frottement*, qui s'oppose au mouvement.

Le frottement est proportionnel à la pression que les surfaces en contact exercent l'une sur l'autre ; il varie selon la nature et l'état de ces surfaces, et il est indépendant de l'étendue de ces surfaces et de leur vitesse relative, tant que cette vitesse ne dépasse pas 4 mètres par seconde.

En lubrifiant les surfaces en contact avec des corps onctueux, tels que l'huile, la graisse, le savon, etc., on diminue considérablement le frottement.

Le frottement n'est proportionnel à la pression des surfaces entre elles que jusqu'à une certaine limite ; au delà, les surfaces *grippent*, s'entament, et le frottement devient considérable. Les corps onctueux, tout en diminuant le frottement, reculent la limite à laquelle les surfaces commencent à gripper.

Quand deux surfaces ont été en contact et en repos pendant un certain temps, le frottement est plus considérable au premier instant du mouvement que quand le mouvement a lieu. Cela est d'autant plus sensible que la pression est plus grande, et que les corps sont plus compressibles, ces deux circonstances tendant à faire pénétrer les surfaces et à chasser l'enduit.

Le rapport entre le frottement F, c'est-à-dire la résistance qui s'oppose directement au mouvement, et la pression P qui s'exerce normalement entre les deux surfaces en contact, est ce qu'on appelle le *coefficient de frottement;* ainsi, en le désignant par f, on a

$$f = \frac{F}{P}; \quad \text{d'où} \quad F = fP, \quad \text{et} \quad P = \frac{F}{f}.$$

Pour $P = 25.000^k$ et $f = 0,75$,

on a : $F = 0,75 \times 25.000 = 18.750$ kil.

Ces formules s'appliquent au premier instant du mouvement; pendant le mouvement, f et F ont des valeurs plus faibles.

Un léger choc, sur les corps en contact depuis un certain temps, produit un ébranlement suffisant pour faire commencer le mouvement, quand le corps mobile est sollicité par un effort très peu supérieur à celui qui est capable de le continuer; on ne tient pas compte de l'augmentation de frottement due à la durée du contact dans l'évaluation de la stabilité des constructions soumises à des ébranlements.

NATURE DES MATÉRIAUX ET ENDUITS (d'après Morin)	RAPPORT f au départ, après quelque temps de contact	RAPPORT f pendant le mouvement
Calcaire tendre, dit calcaire oolithique, bien dressé sur lui-même, sans enduit.....	0,74	0,64
Calcaire dur, dit muschelkalk, bien dressé sur calcaire oolithique, sans enduit.....	0,75	0,67
Brique ordinaire sur calcaire oolithique, sans enduit.....	0,67	0,65
Muschelkalk sur muschelkalk, sans enduit....	0,70	0,38
Calcaire oolithique sur muschelkalk, sans enduit.	0,75	0,65
Brique ordinaire sur muschelkalk, sans enduit.	0,67	0,60
Calcaire oolithique sur calcaire oolithique, enduit de mortier de trois parties de sable fin et une partie de chaux hydraulique, après 10 à 15 minutes de contact.....	0,74	»

Le coefficient de glissement de la pierre bouchardée sur pierre bouchardée, qui est ordinairement 0,78, dépasse certainement 1 quand les maçonneries sont unies par un mortier de moyenne qualité, dont l'adhérence s'ajoute au frottement.

Résistances de matériaux au glissement, à l'instant du départ, après quelque temps de contact

NATURE DES MATÉRIAUX ET ENDUITS	RAPPORT du frottement à la pression	OPÉRATEURS
		Frottement proprement dit
Grès uni sur grès uni, à sec	0,71	Rennie.
— — avec mortier frais	0,66	*Id.*
Calcaire dur poli sur calcaire dur poli	0,58	Rondelet.
— bouchardé — bouchardé	0,78	Boistard.
Granit bien dressé sur granit bouchardé	0,66	Rennie.
— avec mortier frais sur granit bouchardé	0,49	*Id.*
Caisse en bois sur pavé	0,58	Régnier.
— sur terre battue	0,33	Hubert.
Pierre de libage sur un lit d'argile sèche	0,51	Lesbros.
— — l'argile étant humide et ramollie	0,34	*Id.*
— — l'argile pareillement humide, mais recouverte de grosse grève	0,40	*Id.*

NATURE des matériaux superposés et de l'enduit	OPÉRATEURS	SURFACE en décimètres carrés	JOURS de contact à l'air ou dans l'eau	RÉSISTANCE moyenne par mètre carré
				Cohésion ou adhérence [1] kilogr.
Calcaire bouchardé fiché sur calcaire bouchardé, avec mortier de chaux grasse et sable fin	Boistard.	1 à 2	17 à l'air	6.600
		3 à 5	*Id.*	9.400
		47	48 à l'eau	1.200
Le même, avec mortier en chaux grasse et ciment	*Id.*	1 à 2	17 à l'air	3.200
		3 à 5	*Id.*	5.300
Le même, avec mortier en chaux grasse et ciment, non rompu	*Id.*	47	48 à l'eau	1.100
Calcaire tendre de Jaumont fiché sur calcaire tendre de Jaumont, avec mortier de chaux hydraulique de Metz et sable fin	Morin.	1 à 3	83 à l'air	18.000
		2 à 3	48 *id.*	12.000
		Id.	43 *id.*	10.100
		4 à 6	48 *id.*	10.000
		7 à 8	48 *id.*	9.400
Briques ordinaires fichées avec le même mortier	*Id.*	1,3	48 *id.*	14.000
		2,6	48 *id.*	10.000
Calcaire de Jaumont fiché sur calcaire de Jaumont, avec plâtre ordinaire	*Id.*	2,0	48 *id.*	22.000
		8,0	48 *id.*	28.000
Calcaire bleu à gryphite très lisse, sur lui-même, avec plâtre	*Id.*	2,5	48 *id.*	11.000
		4,5	48 *id.*	20.000

[1] La rupture ayant lieu dans l'intérieur de la couche de mortier, ou à la jonction de la couche de plâtre avec la pierre, la résistance est due à la cohésion dans le premier cas et à l'adhérence dans le second.

Ordinairement, on prend 0,76 pour la valeur du coefficient de frottement de la maçonnerie sur elle-même. Quelques observations font baisser cette valeur à 0,57 quand le mortier est frais, et la portent, au contraire, à 1 quand le mortier, de moyenne qualité, a fait prise, et cela, pour la maçonnerie de moellons comme pour celle de pierre de taille.

Le coefficient de frottement d'un mur ou d'un massif sur sa fondation se prend égal à 0,76, quand la fondation est un rocher naturel ou qu'elle est en béton; à 0,57 si le mur ou massif repose sur le *sol naturel* (terre ou sable), et à 0,30 environ si le fond est argileux, sujet à être détrempé par les eaux.

La cohésion d'un massif sur une base en béton peut varier de 10.000 à 144.000 kilogr. par mètre carré, selon la qualité du mortier; mais on ne tient généralement pas compte de cette cohésion dans l'établissement des murs ou massifs soumis à une poussée horizontale, comme dans les murs de soutènement ou les piliers de ponts suspendus, la prise du mortier pouvant n'être pas complète quand la poussée commence à agir. La cohésion de la maçonnerie avec un sol naturel de terre ou de sable est nulle.

Usure des matériaux. — A l'aide d'une machine de MM. Dory et Digeon, de Bologne, on a déterminé, en 1896, les coefficients spécifiques d'usure de certains matériaux.

L'*indice d'usure* est la hauteur de la couche prismatique enlevée sur un échantillon supportant une pression unitaire de $0^{kg},100$ par centimètre carré de surface frottante pendant un parcours de 1 kilomètre, fait à une vitesse de $0^{m},70$ à $1^{m},10$ par seconde. Le *coefficient spécifique d'usure* est le rapport de l'indice d'usure de l'échantillon de matière étudiée à celui d'un échantillon de pierre *type*.

En prenant pour type le granit d'Alzo, on a trouvé :

Granit d'Alzo	1
Grès artificiel	1,51
Brique blanche	2,48
Brique comprimée pour pavages	20,56
Molasse (pliocène inférieur)	56,80
Grès (pliocène inférieur)	42,07
Grès calcaire	5,40
Grès ophiolithique	3,50
Conglomérat quartzeux	2,44

Porosité. — La porosité des matériaux est l'une des plus importantes conditions de salubrité; elle est intimement liée à la perméabilité ou au volume d'eau qui peut traverser les matériaux. Voici, d'après Lang, le *coefficient de perméabilité* de quelques matériaux :

Tuf calcaire	7,980
Briques en laitier	7,596
Briques anglaises en laitier	2,633
Sapin, bois debout	1,010
Mortier	0,906
Béton	0,258
Briques à la main, terres cuites Munich	0,203
Ciment de Portland	0,136
Grès vert (Suisse)	0,118
Plâtre coulé	0,040
Chêne, bois debout	0,006

D'après Lang, Schurmann et Stilling, voici les proportions d'*eau* que fixent les principaux matériaux :

	Eau fixée	
	En volumes	En poids
Mortier	26	14
Briques en laitier	22 à 25	12 à 20
Tuf calcaire	20	12
Béton	19	11
Moellon calcaire	16 à 17	7
Ciment de Portland	17	11
Granit	0,05	0,02
Marbre blanc	0,59	0,22

Résistance des solides soumis à la flexion. — Nous allons rappeler les formules se rapportant à la *résistance d'une pièce prismatique encastrée par une de ses extrémités et sollicitée à l'autre par une force unique* P. La section d'encastrement étant celle où les fibres qui composent le solide ont à supporter le plus grand moment fléchissant, c'est pour cette section qu'il faut calculer les dimensions du solide, dont la résistance totale se compose de la somme des moments à la traction et à la compression de toutes les fibres qui traversent la section d'encastrement. Il faut dire à la traction et à la compression, car les fibres de la partie convexe du solide (*en haut*) sont tirées, celles de la partie concave (*en bas*) sont comprimées, et il y a une nappe de *fibres moyennes* qui sépare les deux précédentes, qui ne supporte ni traction ni compression.

On dit qu'un solide est encastré dans une de ses sections, lorsqu'il ne peut subir aucune déformation dans cette section. L'encastrement est rarement réalisé ; cependant une console peut être encastrée dans un mur.

Ce qui va suivre suppose que la résistance à la traction est égale à la résistance à la compression, ce qui n'est vrai que dans les limites d'élasticité, c'est-à-dire dans les limites où les raccourcissements et allongements sont égaux entre eux et proportionnels aux charges. Comme dans la pratique il ne faut jamais dépasser ni même atteindre ces limites, les formules suivantes satisferont aux applications.

Le *moment fléchissant* μ de la pièce, c'est-à-dire la somme des moments de résistance de toutes les fibres, pris par rapport à la ligne des fibres invariables, est égal au moment de la force P pris par rapport à la section d'encastrement ; on a donc (*fig.* 38) :

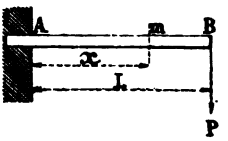


Fig. 38.

$$PL = \frac{RI}{n} = \mu. \qquad (1)$$

Pour une section quelconque faite en m, le moment fléchissant a pour expression :

$$\mu = P(L - x).$$

L, bras de levier de la force P, ou distance de la section d'encastrement de la pièce au point d'application de P, si P agit normalement à la longueur de la pièce ;

$\mu = PL$, *moment fléchissant* du solide en A ;

$\frac{RI}{n}$, *moment de résistance* du solide ;

$\frac{I}{n}$, *module de section transversale du solide* ;

R, *coefficient de sécurité* ou plus grand effort à la traction et à la compression supporté par les fibres les plus éloignées de l'axe neutre du solide ;

I, moment d'inertie de la section, pris par rapport à la ligne des fibres invariables ; il est égal à la somme des produits des divers éléments $d\omega$ qui composent la section par le carré de la distance variable v de chaque élément à la ligne des fibres invariables ;

n, distance des fibres les plus éloignées de l'axe neutre à l'axe qui passe par le centre de gravité de la section.

Dans le cas de la figure la flèche est donnée par la formule

$$f = \frac{PL^2}{3EI}. \qquad (2)$$

E, module ou coefficient d'élasticité ;

f, flèche produite ou quantité dont s'abaisse le point d'application de P dans la direction de cette force ;

$\frac{EI}{\rho}$, *moment d'élasticité* du solide. ρ est le rayon de courbure de la courbe affectée par les fibres invariables, quand la pièce est fléchie. Le moment fléchissant μ est numériquement égal au moment de résistance et aussi égal au moment d'élasticité dans chaque section transversale et l'on a, pour la section A, la valeur maximum :

$$\mu = PL.$$

L'*effort tranchant* T est la force qui tend à trancher la pièce suivant une section transversale quelconque, en la faisant glisser sur cette section. Ici cet effort est égal à P dans toute section m.

Nous avons rappelé les définitions précédentes pour le cas d'une force unique P ; mais on les appliquera facilement à une section quelconque transversale d'un solide sollicité par un nombre quelconque de forces perpendiculaires à sa longueur.

Pour un solide prismatique à section rectangulaire, on a :

$$(a) \qquad n = \frac{h}{2} \quad \text{et} \quad I = \frac{bh^3}{12},$$

par suite le module de section est :

$$\frac{I}{n} = \frac{bh^2}{6}.$$

Pour un carré placé sur une de ses faces, on a pour le module de section :

$$\frac{I}{n} = \frac{c^3}{6}.$$

Les deux formules (1) et (2) deviennent, pour le cas actuel d'une pièce encastrée d'un seul bout, en remplaçant n et I par leurs valeurs :

$$PL = \frac{Rbh^2}{6}, \qquad (1')$$

et

$$f = \frac{4PL^3}{Ebh^3}. \qquad (2')$$

b, largeur de la section transversale et rectangulaire de la pièce ou dimension de cette section perpendiculaire à la direction de la force P ;

h, hauteur du solide, ou dimension de sa section transversale, parallèle à la direction de la force P.

La quantité $\frac{Rbh^2}{6}$ de l'équation (1') étant connue pour un prisme de section rectangulaire donnée, on en conclura la valeur de P ou celle de L, l'une ou l'autre de ces quantités étant connue. Si les valeurs de P et L étaient données d'avance, de cette même équation on déduirait celles de b et h, en établissant entre b et h un rapport convenable, suivant la nature du solide soumis à la flexion. Pour les pièces de fonte sans nervures, on fait $b = \frac{1}{12} h$ au minimum, $b = \frac{1}{4} h$ au maximum. Pour le bois on fait varier b entre $\frac{1}{3}$ et $\frac{1}{3}$ de h, et même, pour les pièces isolées, il convient de faire $b = \frac{5}{7} h$ et même $b = h$.

Moments d'inertie et modules de section des profils des solides les plus usuels soumis à la flexion. — *La section du solide étant*

un parallélogramme, dont la base b est perpendiculaire à la direction de P, *h étant la hauteur du parallélogramme*, on a pour I et $\frac{I}{n}$ les mêmes expressions que pour la section rectangulaire, c'est-à-dire :

$$I = \frac{bh^3}{12}, \qquad \frac{I}{n} = \frac{bh^2}{6}.$$

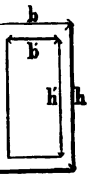


Fig. 39.

Si la section transversale du solide est un carré dont le côté est c, on a, dans le cas où il est fléchi dans le sens perpendiculaire aux arêtes :

$$n = \frac{c}{2}, \qquad I = \frac{c^4}{12} \qquad \text{et} \qquad \frac{I}{n} = \frac{c^3}{6}.$$

Si la coupe transversale du solide prismatique encastré par l'une de ses extrémités et sollicité à l'autre par la force P *a la forme évidée* (*fig.* 39), on a :

$$n = \frac{h}{2}, \qquad I = \frac{bh^3 - b'h'^3}{12}, \qquad \text{et} \qquad \frac{I}{n} = \frac{bh^3 - b'h'^3}{6h}.$$

Comme le font voir ces formules, la section est considérée comme étant la différence de deux rectangles.

Si le solide, au lieu d'être évidé au milieu, l'était latéralement, comme l'indique la figure 40, on aurait encore :

$$n = \frac{h}{2}, \qquad I = \frac{bh^3 - b'h'^3}{12},$$

et

$$\frac{I}{n} = \frac{bh^3 - b'h'^3}{6h}.$$

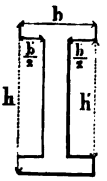


Fig. 40.

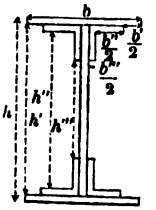


Fig. 41.

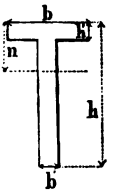


Fig. 42.

Dans le cas où les nervures b sont renforcées par des cornières, comme cela arrive pour les poutres en tôle (*fig.* 41), on a :

$$n = \frac{h}{2}, \qquad I = \frac{bh^3 - (b'h'^3 + b''h''^3 + b'''h'''^3)}{12};$$

et

$$\frac{I}{n} = \frac{I}{6h}.$$

Dans le cas où la section transversale a la forme d'un T, comme l'indique la figure 42, on a, pour la distance maximum des fibres à l'axe neutre :

$$n = \frac{1}{2} \times \frac{bh'^2 - b'h'^2 + b'h^2}{bh' - b'h' + b'h},$$

et

$$I = \frac{1}{3}\left[bn^3 - (b - b')(n - h')^3 + b'(h - n)^3\right],$$

le centre de gravité se détermine graphiquement.

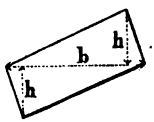


Fig. 43.

La section du solide étant un parallélogramme dont la diagonale b est perpendiculaire à la direction de la force fléchissante P (*fig.* 43), on a :

$$n = h, \qquad I = \frac{bh^3}{6}, \qquad \text{et} \qquad \frac{I}{n} = \frac{bh^2}{6}.$$

Si la section est un carré ayant c pour côté, le solide étant sollicité suivant sa diagonale, on a :

$$b = \frac{2c}{\sqrt{2}} \qquad \text{et} \qquad n = h = \frac{c\sqrt{2}}{2},$$

et ces valeurs donnent :

$$I = \frac{c^4}{12} \qquad \text{et} \qquad \frac{I}{n} = \frac{c^3}{12}\sqrt{2} = \frac{c^3}{6\sqrt{2}}.$$

Or on a trouvé pour le carré placé sur son côté :

$$\frac{I}{n} = \frac{c^3}{6}.$$

Donc le carré placé sur son angle présente une moindre résistance que le carré placé sur son côté dans le rapport de $\frac{\sqrt{2}}{2}$ à 1 ou de 0,707 à l'unité.

Si la section est un losange ABCD *ou un carré* (*fig.* 44), les formules sont les mêmes que pour le parallélogramme (*fig.* 43).

b étant toujours égal à AC, et $h = n = \frac{BD}{2}$, on a :

$$I = \frac{bh^3}{6} \qquad \text{et} \qquad \frac{I}{n} = \frac{bh^2}{6}.$$

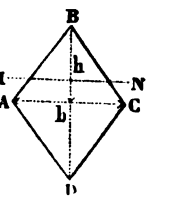


Fig. 44.

Pour un carré de côté c, placé sur son sommet, on a :

$$b = c\sqrt{2}, \qquad h = \frac{c}{2}\sqrt{2} \qquad \text{et} \qquad \frac{I}{n} = \frac{\sqrt{2}}{12}c^3 = 0{,}118c^3.$$

Cette valeur de $\frac{I}{n}$ est plus petite que pour le carré placé sur un côté.

Lorsque la section d'un solide est un triangle ABC (*fig.* 44), et que l'axe neutre MN est parallèle à l'un des côtés, on a :

$$n = \frac{2}{3}h \qquad \text{et} \qquad I = \frac{1}{36}bh^3;$$

$$\frac{I}{n} = \frac{1}{24}bh^2.$$

La section du solide étant un rectangle disposé de manière que l'axe d'inertie b et h étant la base et la hauteur du triangle MN, *fasse avec le côté b un angle α* (*fig.* 45), on a (h et b étant les deux côtés du rectangle) :

$$n = \frac{1}{2}(b \sin \alpha + h \cos \alpha)$$

et

$$I = \frac{bh}{12}(b^2 \sin^2 \alpha + h^2 \cos^2 \alpha);$$

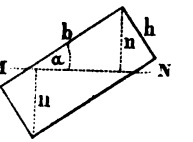


Fig. 45.

si :

$$\alpha = 0, \quad \sin \alpha = 0, \quad \cos \alpha = 1, \quad I = \frac{bh^3}{12}, \quad \frac{I}{n} = \frac{bh^2}{6},$$

valeurs déjà trouvées pour la section rectangulaire de base b et de hauteur h, quand la pièce est fléchie dans le sens de la hauteur.

La section du solide étant un cercle de rayon r, on a :

$$n = r, \qquad I = \frac{\pi r^4}{4}, \qquad \text{et} \qquad \frac{I}{n} = \frac{\pi r^3}{4}.$$

Si le solide est un cylindre creux de rayons r et r', on a les formules :

$$n = r; \qquad I = \frac{\pi}{4}(r^4 - r'^4), \qquad \text{et} \qquad \frac{I}{n} = \frac{\pi}{4r}(r^4 - r'^4).$$

En faisant $r' = 0$, on obtient celles du cercle plein.

Pour un solide à section elliptique dont $2h$ est l'axe vertical et $2b$ l'axe horizontal, on a :

$$n = h, \qquad I = \frac{\pi}{4}bh^3, \qquad \text{et} \qquad \frac{I}{n} = \frac{\pi}{4}(bh^2).$$

Pour $b = h$ on retrouve les formules relatives à la section circulaire.

Nota. — Si l'ellipse a son grand axe vertical, le moment d'inertie et le module de section sont maximums.

Pour un solide creux à section elliptique, $2h$ et $2b$ étant les axes de l'ellipse extérieure, et $2h'$ et $2b'$ ceux de l'ellipse intérieure

(*fig.* 46), h et h' désignant dans tous les cas les dimensions verticales, on a :

$$n = h, \qquad I = \frac{\pi}{4}(bh^3 - b'h'^3),$$

$$\frac{I}{n} = \frac{\pi}{4h}(bh^3 - b'h'^3).$$

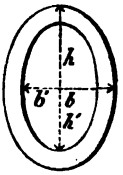


Fig. 46.

Le nota ci-dessus est applicable au profil elliptique creux.

Comparaison d'un carré au cercle inscrit. — Pour le carré de côté c, le module de section est :

$$\frac{I}{n} = \frac{c^3}{6}. \qquad (a)$$

Pour le cercle inscrit le diamètre $d = c$; on en déduit :

$$\frac{I}{n} = \frac{\pi r^3}{4} = \frac{\pi d^3}{32}. \qquad (b)$$

d'où, prenant le rapport de (b) à (a), il vient approximativement $0{,}6 = \frac{3}{5}$. On en conclut que le cylindre inscrit dans un prisme à base carrée présente à la flexion une résistance égale aux $\frac{3}{5}$ de celle de la solive carrée circonscrite.

Moment d'inertie d'un demi-cercle plein et module de section :

$$I = 0{,}110r^4, \qquad n = 0{,}576r, \qquad \frac{I}{n} = 0{,}19r^3,$$

r étant le rayon et n la distance du centre de gravité à la partie convexe du profil demi-circulaire.

Moment d'inertie d'un triangle plein dont la base est horizontale et module de section $\frac{I}{n}$:

$$I = \frac{bh^3}{36}, \qquad \frac{I}{n} = \frac{bh^3}{24}.$$

Applications des formules générales de la flexion. Solide prismatique encastré par une de ses extrémités, chargé uniformément sur toute sa longueur. — Dans ce cas les deux formules sont :

$$\frac{pL^2}{2} = \frac{RI}{n}, \qquad (1)$$

et

$$\frac{pL^4}{8} = EIf. \qquad (2)$$

Les lettres L, R, I, n, E et f ont les mêmes significations (page 199).

p, charge par mètre de longueur de la pièce ; c'est, par exemple, le poids de chaque mètre de longueur de la pièce ou toute autre charge uniforme comprenant la charge des poutres ou solives ;

pL, charge totalement uniforme ;

$\frac{L}{2}$, bras de levier de la résultante ou de la charge uniforme pL.

Pour une section normale, faite en m, le moment fléchissant et l'effort tranchant ont pour expressions :

$$\mu = \frac{p(L-x)^2}{2} \qquad \text{et} \qquad T = p(L-x).$$

En comparant les formules précédentes, on voit qu'une même pièce peut supporter une charge totale pL, répartie uniformément sur toute sa longueur, double de la charge P qu'elle porte à son extrémité. Une solive donne, pour une charge égale, une flèche f qui n'est, pour le cas où la charge est uniformément répartie, que les 3/8 de celle produite par la même charge appliquée à l'extrémité de la solive.

En remplaçant, dans les formules (1) et (2), n, I par les valeurs qui conviennent à un rectangle, on obtient :

$$pL^2 = \frac{Rbh^2}{6} \qquad \text{et} \qquad f = \frac{3pL^4}{2Ebh^3}.$$

Solive ou poutre encastrée par une de ses extrémités, chargée d'un poids P appliqué à son extrémité libre et d'une charge pL répartie uniformément sur toute sa longueur. — Ce cas se présente particulièrement toutes les fois qu'en outre du poids P on est obligé de tenir compte du poids du solide. Avec ces données les formules deviennent, en conservant aux lettres les mêmes significations :

$$\left(P + \frac{pL}{2}\right) L = \frac{RI}{n}. \qquad (1)$$

et

$$\left(\frac{P}{3} + \frac{pL}{8}\right) L^3 = EIf. \qquad (2)$$

En remplaçant n et I par les valeurs qui conviennent aux sections des solives, on obtient les formules suivantes pour une solive à section rectangulaire :

$$\left(P + \frac{pL}{2}\right) L = \frac{Rbh^2}{6},$$

et

$$f = \frac{12\left(\frac{P}{3} + \frac{pL}{8}\right) L^3}{Ebh^3}.$$

Pour une section faite en m, le moment fléchissant et l'effort

tranchant ont pour expressions :

$$\mu = P(L - x) + \frac{p(L - x)^2}{2} \quad \text{et} \quad T = P + p(L - x).$$

Si la solive encastrée par une de ses extrémités est chargée de poids isolés P', P'', P''', etc., distants de l'encastrement de l', l'', l''', etc., on remplacera dans les formules précédentes PL par la somme :

$$P'l' + P''L'' + \ldots..$$

ce qui donnera le moment fléchissant au point d'encastrement :

$$\mu = P'l' + P''l'' + P'''l''' = R\frac{I}{n}.$$

C'est d'après cette expression qu'il faudra calculer la section d'encastrement.

Solive ou poutre reposant sur deux appuis placés à ses extrémités. — Supposons d'abord qu'on puisse négliger le poids du solide, et qu'il soit chargé d'un poids P placé au milieu de sa longueur (*fig.* 47). Dans ce cas, le solide travaillant comme s'il était encastré au milieu de sa longueur et sollicité à chacune de ses extrémités par une force égale à $\frac{P}{2}$, toutes les formules précédentes se reproduiront; seulement P sera remplacé par $\frac{P}{2}$ et L par $\frac{L}{2}$; ainsi, pour un solide prismatique, les deux formules (1) et (2) deviennent, en conservant aux lettres les mêmes significations :

$$\mu = \frac{PL}{4} = \frac{RI}{n}, \quad (1) \qquad \text{et} \qquad f = \frac{PL^3}{48EI}. \quad (2)$$

Comparant ces formules avec les précédentes, on reconnaîtra qu'une même pièce porte, au milieu de sa longueur, dans le cas où elle repose sur deux appuis, une charge quatre fois plus grande que quand elle est seulement encastrée par une extrémité et chargée à l'autre, et que, pour un même poids, la flèche est seize fois plus petite.

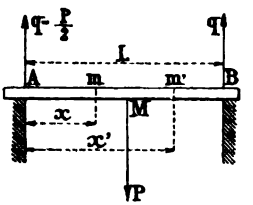


Fig. 47.

Remplaçant n et I par les valeurs qui conviennent aux sections rectangulaires, on a :

$$\mu = \frac{PL}{4} = \frac{Rbh^2}{6}.$$

et la flèche $$f = \frac{PL^3}{4Ebh^3}.$$

Pour les solides à section carrée de côté c, il vient, en faisant $b = h = c$,

$$P = \frac{2Rc^3}{3L} \quad \text{et} \quad f = \frac{PL^3}{4Ec^4}.$$

Pour des sections quelconques m et m', les moments fléchissants et l'effort tranchant ont pour expressions :

$$\mu = \frac{P}{2}x, \quad \mu' = \frac{P}{2}x' - P\left(x' - \frac{L}{2}\right) \quad \text{et } T = \frac{P}{2} \text{ (constant)}.$$

Si la charge est uniformément répartie sur toute la longueur de la solive, p étant la charge par mètre de longueur, la charge totale est pL, dont la moitié est $\frac{pL}{2}$, et l'on obtient pour le moment fléchissant :

$$\mu = \frac{pL^2}{8} = \frac{RI}{n}. \qquad (1)$$

et

$$f = \frac{5pL^4}{384EI}. \qquad (2)$$

Ces formules font voir que le poids pL est double de celui porté par la même solive chargée en son milieu, et que la flèche est les 5/8 de celle produite par le même poids appliqué au milieu de la longueur de la solive.

Pour un solide prismatique à section rectangulaire on a, en remplaçant n et I par les valeurs qui conviennent à cette section :

$$\mu = \frac{pL^2}{8} = \frac{Rbh^2}{6},$$

et

$$f = \frac{5pL^4}{32Ebh^3}.$$

Solive ou poutre chargée du poids P au milieu de sa longueur et d'une charge uniforme p par mètre sur toute sa longueur. — On a :

$$\mu = \left(P + \frac{pL}{2}\right)\frac{L}{4} = \frac{RI}{n}, \qquad (1)$$

et

$$\left(P + \frac{5}{8}pL\right)\frac{L^3}{48} = EIf. \qquad (2)$$

Pour un solide prismatique à section rectangulaire on a, en remplaçant n et I par leurs valeurs :

$$\left(P + \frac{pL}{2}\right)\frac{L}{4} = \frac{Rbh^2}{6}.$$

et

$$f = \frac{\left(P + \frac{5}{8}pL\right)L^3}{4Ebh^3}.$$

Le moment fléchissant pour une section faite en m a pour

expression (en prenant les moments par rapport à m), *équilibre* de Am :

$$\mu = \left(\frac{P}{2} + \frac{PL}{2}\right) x - \frac{px^2}{2}, \qquad (A)$$

et pour une section faite en m' on a, pour l'espace libre de Am' :

$$\mu = \left(\frac{P}{2} + \frac{PL}{2}\right) x - P\left(x' - \frac{L}{2}\right) - \frac{px^3}{2}. \qquad (B)$$

Remarque. — Si dans les deux dernières formules (A) et (B) on fait $x = \frac{L}{2}$ et $x' = \frac{L}{2}$, on obtient le moment fléchissant maximum en M au milieu de la portée. Les relations (A) et (B) permettront de construire la courbe des moments fléchissants, dont l'ordonnée en chaque point m sera proportionnelle au moment fléchissant de la section transversale en ce point m. Par suite, si le solide, soumis à la flexion, est en métal (fer ou fonte), on pourra proportionner économiquement sa section suivant la valeur du moment fléchissant, en s'imposant la condition que le coefficient de sécurité R ne dépasse pas une valeur donnée. A cet effet, on écrira pour chaque section m :

$$\mu = \frac{RI}{n},$$

d'où l'on déterminera $\frac{I}{n}$ et, par suite, la section nécessaire en m.

Cette considération conduirait à réduire à zéro la section de la poutre aux points d'appui A et B, puisque pour ces points le moment fléchissant est zéro. Mais pour ces points l'effort tranchant a pour valeur maximum :

$$T = P + \frac{pL}{2} = SR',$$

en appelant S la section de la poutre en A, et en désignant par R' le coefficient de cisaillement que l'on peut prendre égal aux 4/5 du coefficient R de sécurité (à l'extension et à la compression). Cette expression permettra de déterminer la section de la poutre sur l'appui A.

Solive ou poutre reposant sur deux appuis et portant un poids unique placé en un point quelconque. — On a alors pour la réaction au point A (*équilibre de* Am) :

$$q = \frac{Pl'}{L};$$

et pour le moment fléchissant en C :

$$\mu = \frac{Pll'}{L} = \frac{RI}{n}.$$

l et l', *distances du point d'application de* P *aux appuis*, $l + l' = L$.

Pour un solide à section rectangulaire on a, en remplaçant n et I par leurs valeurs :

$$\frac{Pll'}{L} = \frac{Rhh^2}{6}.$$

Si le poids était appliqué au milieu de L, on aurait :

$$l = l' = \frac{L}{2},$$

et cette valeur substituée dans ces deux dernières formules, reproduirait les formules déjà trouvées pour ce cas (p. 206).

La solive étant chargée, en outre du poids P placé en un point quelconque C de sa longueur, d'un poids p par mètre courant, réparti uniformément, on a pour la réaction en A :

$$q = \frac{Pl'}{L} + \frac{pL}{2},$$

et pour le moment fléchissant en C (*équilibre de* AC) :

$$\mu = \frac{RI}{n} = \left(\frac{Pl'}{L} + \frac{pL}{2}\right) l - \frac{pl^2}{2}.$$

Cette formule donne la valeur du moment fléchissant pour le point d'application du poids P ; mais il peut arriver que ce ne soit pas le maximum du moment fléchissant. Dans ce cas il y a une limite de $\frac{P}{pL}$ à partir de laquelle le maximum a toujours lieu au point d'application de P.

Il est d'ailleurs facile de calculer cette limite du rapport $\frac{P}{pL}$.

D'après la figure 48 on a pour la réaction sur l'appui A :

$$q = \frac{Pl'}{L} + \frac{pL}{2}. \qquad \text{(A)}$$

Le moment fléchissant, pour une section faite en m, a pour expression, Am étant égal à x :

$$\mu = qx - \frac{px^2}{2}. \qquad \text{(B)}$$

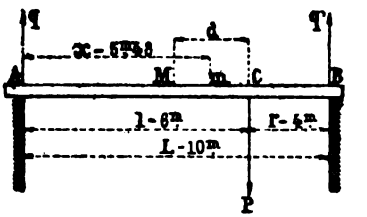


Fig. 48.

La valeur maximum du moment fléchissant répond à la dérivée de (B) égalée à zéro, ce qui donne :

$$\frac{d\mu}{dx} = q - px - 0,$$

d'où :

$$x = \frac{q}{p}. \qquad \text{(C)}$$

Cette valeur est seulement applicable lorsqu'elle est plus petite que AC $= l$, ou lorsqu'elle est au plus égale à AC ; on doit donc poser la condition :

$$\frac{q}{p} \leq l,$$

d'où l'on déduit successivement en remplaçant q par sa valeur (A) :

$$\frac{Pl'}{L} + \frac{pL}{2} < pl,$$

$$\frac{Pl'}{L} < pl - \frac{pL}{2} = p\left(l - \frac{L}{2}\right),$$

$$\frac{P}{pL} \leq \frac{1}{l'}\left(l - \frac{L}{2}\right).$$

Or la figure donne (M étant le milieu de la portée L) :

$$l - \frac{L}{2} = l - AM = d.$$

On peut écrire la dernière relation de cette manière :

$$\frac{P}{pL} \leq \frac{d}{l'}. \qquad \text{(D)}$$

Telle est la limite du rapport de la charge isolée P à la charge uniforme, limite qu'il faut interpréter ainsi :

1° Si l'on a :

$$\frac{P}{pL} \leq \frac{d}{l'},$$

le maximum du moment fléchissant et la section de rupture sont en m, c'est-à-dire entre le point C et le milieu M de la portée ;

2° Si l'on a :

$$\frac{P}{pL} = \frac{d}{l'},$$

le maximum du moment fléchissant et la section de rupture sont en C ;

3° Si

$$\frac{P}{pL} > \frac{d}{l'},$$

on a en même temps $x > l$; cette valeur n'est pas applicable et l'on fait x aussi grand que possible en prenant $x = l = AC$. Le maximum du moment fléchissant est en C.

Les exemples suivants permettront de se rendre compte des cas particuliers.

Premier exemple. — Données : L = 10 mètres ; l = 6 mètres ; l' = 4 mètres ; P = 1.200 kilogr. ; p = 1.000 kilogr. Le calcul donne :

$$q = 5.488 \text{ kilogr.},$$

$$x = \frac{q}{p} = \frac{5.480}{p} = 5^{m},48 < AC.$$

Cette valeur est applicable. On obtiendra le maximum du mo-

ment fléchissant en remplaçant x par sa valeur $5^m,48$ dans l'équation (B), ce qui donne :

$$\mu = 15,029.$$

On peut vérifier que la condition (D) est satisfaite.

Deuxième exemple. — Données : P = 1.250 kilogr.; p = 500 kilogr. Le calcul donne :

$$q = 3.000 \text{ kilogr.},$$

$$x = \frac{q}{p} = 6 \text{ mètres} = \text{AC}.$$

Le maximum du moment fléchissant et la section de rupture sont en C; ce qui donne $\mu = 9.000$.

La condition (D) est satisfaite.

Troisième exemple. — Données : P = 1.800 kilogr.; p = 680 kilogr. Le calcul donne :

$$q = 3.720 \text{ kilogr.},$$

$$x = \frac{q}{p} = \frac{3.720}{600} = 6^m,20 > \text{AC},$$

donc cette valeur n'est pas applicable, et l'on fera pour le maximum du moment fléchissant x aussi grand que possible en prenant x = AC ; ce qui donne $\mu = 11.520$. Le maximum est donc en C. On peut vérifier que la condition (D) n'est pas satisfaite.

Poutre encastrée à ses deux extrémités et chargée uniformément sur toute sa longueur. — On dit qu'une poutre ou une solive est encastrée en une section lorsqu'elle ne peut subir aucune déformation dans cette section.

Pour une section transversale de la poutre, située à une distance x de l'une des extrémités, le moment fléchissant a pour expression :

$$M = \frac{pL}{2}x - \frac{px^2}{2} + m, \qquad (1)$$

m étant le moment fléchissant dans la section encastrée.

Le moment d'encastrement à chaque extrémité a pour expression :

$$m = -\frac{pL^2}{12} = R\left(\frac{I}{n}\right);$$

c'est le maximum du moment fléchissant.

On en déduit la charge uniforme :

$$pL = -\frac{12R}{l}\left(\frac{I}{n}\right).$$

Pour la poutre simplement posée on a (p. 207) :

$$\frac{pL^2}{8} = R\frac{I}{n},$$

d'où :

$$pL = \frac{8R}{L}\left(\frac{I}{n}\right).$$

Ainsi la charge uniforme que peut porter une poutre encastrée (à ses deux extrémités) est une demi-fois plus grande que celle de la poutre simplement posée. Il est bon de rappeler que l'encastrement est rarement réalisé ; mais il peut être utile d'y avoir égard.

Le moment fléchissant au milieu de la portée est :

$$M' = \frac{pL^2}{24}.$$

C'est la moitié du moment fléchissant maximum en A et B.

Pour les sections distantes des extrémités de $0{,}2113l$, le moment fléchissant est nul.

La flèche est donnée par la formule :

$$f = \frac{pL^4}{384EI}.$$

Cette valeur est cinq fois plus petite que pour la solive simplement posée, pour laquelle la flèche est (p. 207) :

$$f = \frac{5pL^4}{384EI}.$$

Fers laminés à double T employés pour planchers et combles (moments d'inertie). — Aujourd'hui, on fait un usage considérable des fers laminés à double **T** symétriques dans la construction des planchers et des combles. Toutes les usines métallurgiques fabriquent de ces fers, et il est facile de constater, d'après les albums des usines, que les échantillons présentent d'une usine à l'autre des différences très grandes au point de vue des poids par mètre courant et aussi au point de vue des profils. Chaque usine a ses modèles, formant plusieurs séries, mais pouvant se résumer en deux grandes divisions :

1° Les fers dits *à petites ailes*, ou fers ordinaires, dont les hauteurs varient de 2 en 2 centimètres depuis 8 centimètres de hauteur jusqu'à 24 et 26 centimètres.

Une autre série de fers à petites ailes, appelés *gros fers*, présentant les mêmes hauteurs que les précédents et les mêmes profils, mais dont toutes les dimensions transversales ont été augmentées de quelques millimètres. Ces gros fers, qui sont obtenus en écartant plus ou moins les cylindres des laminoirs, sont en général moins économiques que les fers ordinaires, parce qu'ils présentent une augmentation de poids plus grande que l'accroissement de résistance. Pour une hauteur donnée de fers, chaque

usine fabrique un *fer minimum* et un *fer maximum*, et sur commande elle fabrique des modèles intermédiaires.

2° Des fers dits *larges ailes* sont fabriqués par les usines. Les ailes ou doubles T sont très développés. Ils forment des séries très variées ; pour chaque modèle il y a aussi un minimum et un maximum de largeur.

Il est essentiel de noter que les usines ont tellement multiplié leurs modèles sans aucune loi sous le rapport des poids, des nervures et des résistances des échantillons, qu'il est impossible de faire un tableau donnant la résistance moyenne de ces fers, et qu'il faudrait, en toute rigueur, un tableau pour chaque usine. Nous donnons (p. 214 à 219) les valeurs des modules de section $\frac{I}{n}$ des fers de quelques usines et aussi les moments de résistance $R\frac{I}{n}$, calculés avec les coefficients de sécurité 6, 8 et 10 kilogr. par millimètre carré de la section transversale des profils. Ces chiffres doivent être considérés comme des jalons qui permettront d'apprécier par comparaison, avec une approximation souvent suffisante, la résistance des fers des autres usines dont les profils et les poids présentent des différences avec ceux des tableaux. Ces tableaux trouvent leurs applications dans le calcul des *Planchers*.

Tableaux de fers à planchers. — Dans le premier tableau ci-après, qui se rapporte à des séries de fers à double T des usines de Maubeuge, chaque couple présente pour une même hauteur deux fers, l'un minimum, l'autre renforcé. Ces deux fers ne diffèrent que par les largeurs horizontales. Pour ces deux fers, les modules de section sont inscrits dans la troisième colonne. La quatrième colonne donne le rapport des poids respectifs des deux fers ; et la cinquième colonne, le rapport des deux modules de section de ces mêmes fers ou le rapport de leurs résistances dans les mêmes conditions de portée et de sécurité. La sixième colonne donne l'augmentation proportionnelle du poids du fer maximum sur le poids minimum, et la dernière colonne à droite fait connaître l'augmentation proportionnelle de la résistance du fer renforcé, comparée à la résistance du fer minimum.

Ainsi, pour les fers de 80 millimètres de hauteur (voir à la partie supérieure du tableau), le rapport des poids par mètre est 1,30, le rapport des résistances ou des modules de sections de ces mêmes fers est 1,12 ; d'où l'on conclut que l'accroissement proportionnel du poids est de 30/100, tandis que la résistance a seulement augmenté de 12/100.

En parcourant le tableau, il est facile de reconnaître que l'accroissement proportionnel de la résistance varie entre la moitié et les deux tiers de l'accroissement proportionnel du poids des solives.

Ainsi se vérifie ce fait économique bien connu, que les fers

renforcés présentent, en général, un accroissement de poids plus grand que l'accroissement correspondant de résistance. Il faut donc, autant que possible, ne pas employer les fers renforcés et prendre les fers les plus hauts et dont l'âme soit aussi mince que possible.

Fers à planchers à double T symétrique des usines des hauts-fourneaux de Maubeuge. — Poids et modules de section

HAUTEURS des FERS en millimètres	POIDS par MÈTRE	MODULES de SECTION	RAPPORT des POIDS des fers	RAPPORT des RÉSISTANCES	AUGMENTATION PROPORTIONNELLE des poids	AUGMENTATION PROPORTIONNELLE de la résistance
	kilogr.					
80	6	0,0000215	1,30	1,12	0,30	0,12
80	8,5	0,0000243				
100	8,50	0,0000340	1,35	1,20	0,35	0,20
100	11,50	0,0000408				
120	9,75	0,0000455	1,33	1,15	0,33	0,15
120	13,00	0,0000524				
140	12,5	0,0000649	1,36	1,20	0,36	0,20
140	17,0	0,0000780				
160	13,5	0,0000780	1,37	1,22	0,37	0,22
160	18,5	0,0000953				
180	18,5	0,0001280	1,29	1,16	0,29	0,16
180	24,0	0,0001490				
200	20,5	0,0001700	1,26	1,13	0,26	0,13
200	26,0	0,0001930				
220	24,0	0,0001970	1,29	1,16	0,29	0,16
220	31,0	0,0002290				
235	35,0	0,0003240	1,25	1,14	0,25	0,14
235	44,0	0,0003700				
240	28,5	0,0002410	1,36	1,23	0,36	0,23
240	39,0	0,0003000				
250	36,5	0,0003580	1,36	1,18	0,36	0,18
250	50,0	0,0004240				
260	40,0	0,0003780	1,25	1,15	0,25	0,15
260	50,0	0,0004340				
260	43,3	0,0004860	1,27	1,11	0,27	0,11
260	55,5	0,0005420				
280	42,0	0,0004790	1,26	1,13	0,26	0,13
280	53,0	0,0005450				

HAUTEURS des FERS en millimètres	POIDS par MÈTRE	MODULES de SECTION	RAPPORT des POIDS des fers	RAPPORT des RÉSISTANCES	AUGMENTATION PROPORTIONNELLE des poids	AUGMENTATION PROPORTIONNELLE de la résistance
300 300	50,0 62,9	0,0006520 0,0007270	1,25	1,11	0,25	0,11
300 300	55,0 71,0	0,0006080 0,0007130	1,29	1,17	0,29	0,17
350 350	70,0 84,5	0,0009790 0,0010910	1,20	1,11	0,20	0,11
400 400	82,0 98,0	0,0012420 0,0013760	1,19	1,10	0,19	0,10

NOTA. — Les séries de fers à double **T** de toutes les usines fournissent des comparaisons analogues à celles qui ressortent des tableaux précédents, concernant les poids et les résistances.

Nous donnons ci-après les poids et les modules de section de quelques fers à double **T** de diverses usines. Les trois dernières colonnes des tableaux font connaître les valeurs du produit $R\left(\frac{I}{n}\right)$, calculées avec les coefficients de sécurité 6, 8 et 10 kilogrammes par millimètre carré.

Usine de la Providence

HAUTEUR des FERS	POIDS par MÈTRE	MODULES DE SECTION $\frac{I}{n}$	VALEURS DE $R\frac{I}{n}$		
			6 kilogr.	8 kilogr.	10 kilogr.
		Petites ailes.			
mèt.	kilogr.				
0,10	9 12	0,00003303 0,00003953	198 237	264 314	330 395
0,12	11 15	0,00004690 0,00005722	281 343	375 457	469 572
0,14	14 20	0,00006736 0,00008532	404 511	538 682	673 853
0,16	15 25	0,00008163 0,0001157	489 694	653 926	816 1,157
0,18	20 30	0,0001205 0,0001594	724 956	964 1,275	1,205 1,594

HAUTEUR des FERS	POIDS par MÈTRE	MODULES DE SECTION $\frac{I}{n}$	VALEURS DE R $\frac{I}{n}$		
			6 kilogr.	8 kilogr.	10 kilogr.
0,20	25	0,0001715	1.029	1.382	1.715
	35	0,0002142	1.285	1.713	2.142
0,22	26	0,0001983	1.189	1.586	1.983
	40	0,0002644	1.586	2.115	2.644
0,26	36,40	0,0002998	1.799	2.398	2.998
	54,40	0,0004001	2.400	3.201	4.000
0,30	65	0,0007216	4.330	5.773	7.216
	85	0,0008491	5.095	6.793	8.491

Usine de Montataire

HAUTEUR des FERS	POIDS par MÈTRE	MODULES DE SECTION $\frac{I}{n}$	VALEURS DE R $\frac{I}{n}$		
			6 kilogr.	8 kilogr.	10 kilogr.
		Petites ailes.			
mèt.	kilogr.				
0,10	8,06	0,00002989	179	239	299
	11,56	0,00003739	224	299	374
0,12	10	0,00004420	266	354	442
	14,28	0,00005524	331	441	552
0,14	13	0,00006573	394	525	657
	18	0,00008076	484	645	807
0,16	16,50	0,00009389	563	751	939
	25	0,0001229	733	981	1.229
0,18	20	0,0001254	752	1.003	1.254
	30	0,0001638	982	1.310	1.638
0,20	22	0,0001538	923	1.230	1.538
	34,40	0,0002072	1.243	1.657	2.071
0,22	24,30	0,0001841	1.104	1.472	1.841
	38	0,0002486	1.492	1.989	2.486
0,26	45	0,0004704	2.822	3.763	4.704
	61	0,0005627	3.376	4.501	5.626
		Larges ailes.			
0,175	23,50	0,0001430	857	1.143	1.429
	30,30	0,0001685	1.011	1.348	1.685

Usine du Creusot

HAUTEUR des PERS	POIDS par MÈTRE	MODULES DE SECTION $\frac{I}{n}$	VALEURS DE R $\frac{I}{n}$		
			6 kilogr.	8 kilogr.	10 kilogr.
		Petites ailes.			
mét.	kilogr.				
0,10	9,00	0,00003214	193	257	321
	13,00	0,00004195	252	335	419
0,12	10,00	0,00004697	282	375	469
	15,00	0,00006057	303	454	605
0,14	13,00	0,00006480	389	518	648
	19,00	0,00008440	506	675	844
0,16	15,00	0,00008872	532	709	887
	22,00	0,0001122	673	897	1.122
0,18	18,75	0,0001218	731	974	1.218
	28,50	0,0001596	957	1.276	1.596
0,20	21,20	0,0001537	922	1.229	1.537
	32,15	0,0001998	1.198	1.598	1.998
0,22	24,60	0,0001956	1.173	1.564	1.956
	36,60	0,0002608	1.565	2.086	2.608
		Larges ailes.			
0,125	16,00	0,00008081	484	646	808
	19,00	0,00008862	531	709	886
0,175	22,50	0,0001379	827	1.103	1.379
	32,00	0,0001936	1.161	1.548	1.936
0,200	28,00	0,0002193	1.316	1.754	2.193
	37,50	0,0002593	1.556	2.074	2.593
0,235	32,00	0,0002973	1.783	2.378	2.973
	41,00	0,0003434	2.060	2.747	3.434
0,235	38,00	0,0003574	2.144	2.859	3.574
	47,00	0,0004035	2.421	3.228	4.035
0,250	37,00	0,0003582	2.149	2.865	4.582
	46,50	0,0004103	2.469	3.282	4.103
0,250	38,00	0,0003620	2.172	2.896	3.620
	48,00	0,0004140	2.484	3.312	4.140
0,250	46,00	0,0004384	2.630	3.507	4.384
	56,00	0,0004905	2.943	3.924	4.905

Société de Vezin-Aulnoye

HAUTEUR des FERS	POIDS par MÈTRE	MODULES DE SECTION $\frac{I}{n}$	VALEURS DE R $\frac{I}{n}$		
			6 kilogr.	8 kilogr.	10 kilogr.
		Petites ailes.			
mèt.	kilogr.				
0,08	7,9	0,0000285	171	228	285
	10,1	0,0000316	189	252	316
0,10	10,0	0,0000455	273	364	455
	13,0	0,0000522	313	417	522
0,12	14,0	0,0000743	446	594	743
	17,7	0,0000839	503	671	839
0,14	18,0	0,0001114	668	891	1.114
	22,3	0,0001245	747	996	1.245
0,16	22,2	0,0001560	936	1.248	1.560
	27,7	0,0001752	1.051	1.400	1.752
0,18	27,1	0,0002179	1.307	1.743	2.179
	33,9	0,0002449	1.469	1.959	7.449
0,20	26,1	0,0002236	1.341	1.788	2.236
	33,8	0,0002576	1.545	2.060	2.576
0,20	29,9	0,0002607	1.564	2.085	2.607
	37,5	0,0002936	1.761	2.348	2.936
0,22	33,0	0,0002907	1.744	2.325	2.907
	38,0	0,0003150	1.890	2.520	3.150
0,22	36,4	0,0003437	2.062	2.750	3.437
	45,6	0,0003881	2.328	3.104	3.881
0,25	36,6	0,0003454	2.072	2.763	3.454
	46,2	0,0003974	2.384	3.179	3.974
0,25	37,0	0,0003963	2.378	3.170	3.963
	48,4	0,0004588	2 753	3.670	4.588
0,25	43,2	0,0004797	2.878	3.837	4.797
	54,6	0,0005422	3.253	4.337	5.422
0,26	43,3	0,0004857	2.914	3.885	4.857
	53,2	0,0005420	3.252	4.336	5.420
0,30	57,0	0,0007153	4.292	5.722	7.153
	68,6	0,0007903	4.742	6.322	7.903
0,35	72,5	0,0010216	6.130	8.172	10.216
	84,0	0,0013480	8.088	10.784	13.480

Tableau des poids des fers ronds par mètre de longueur

DIAMÈTRE	POIDS	DIAMÈTRE	POIDS	DIAMÈTRE	POIDS	DIAMÈTRE	POIDS	DIAMÈTRE	POIDS
mil.	kil.	mil.	kil.	mil.	kil.	mil.	kil.	mil.	kil.
2	0,024	22	2,962	42	10,794	62	23,521	82	41,144
3	0,055	23	3,237	43	11,314	63	24,286	83	42,154
4	0,098	24	3,525	44	11,846	64	25,063	84	43,176
5	0,158	25	3,824	45	12,391	65	25,853	85	44,210
6	0,220	26	4,136	46	12,948	66	26,654	86	45,256
7	0,300	27	4,461	47	13,517	67	27,468	87	46,315
8	0,392	28	4,797	48	14,098	68	28,294	88	47,386
9	0,496	29	5,146	49	14,692	69	29,133	89	48,469
10	0,612	30	5,507	50	15,296	70	29,983	90	49,563
11	0,740	31	5,880	51	15,916	71	30,846	91	50,271
12	0,881	32	6,266	52	16,546	72	31,721	92	51,791
13	1,034	33	6,664	53	17,188	73	32,548	93	52,923
14	1,199	34	7,074	54	17,843	74	33,508	94	54,607
15	1,337	35	7,496	55	18,510	75	34,119	95	55,224
16	1,566	36	7,930	56	19,189	76	35,343	96	56,393
17	1,768	37	8,377	57	19,881	77	36,288	97	57,754
18	1,983	38	8,836	58	20,584	78	37,228	98	58,644
19	2,209	39	9,307	59	21,300	79	38,189	99	59,970
20	2,448	40	9,790	60	22,028	80	39,162	100	61,190
21	2,698	41	10,286	61	22,769	81	40,147		

Solides soumis à la compression. — Résistance des poteaux en bois. — Le bois est un des éléments constructifs que l'on rencontre le plus sous des emplois très multipliés. Dans les constructions anciennes il formait l'ossature, le squelette de la plupart des murs de séparation, dénommés pans de bois ; il constituait aussi l'élément résistant des combles. Aujourd'hui, malgré l'emploi du métal comme soutien vertical et comme poutrelle pour plancher, on trouve encore le bois dans les planchers et dans les combles et, notamment, dans les halles à marchandises pour chemins de fer, dans la construction des ateliers et des hangars et constructions temporaires.

Il est nécessaire de rappeler, au point de vue de la stabilité de la sécurité des constructions et de l'économie, les données qui permettent de déterminer les dimensions des bois dans leurs applications les plus courantes, aux planchers et aux combles comme éléments supportant des efforts de compression et de flexion.

Résistance des bois à la compression. — Expériences de Rondelet. — On sait, d'après les anciennes expériences de Rondelet, que la résistance d'un prisme de bois à la compression ne varie pas sensiblement, tant que sa hauteur ne dépasse pas huit fois le plus petit côté de sa section transversale. La charge de rupture par

compression d'un cube de chêne de bonne qualité est environ de 420 kilogr. par centimètre carré, et l'on prend pour la charge pratique des poteaux en bois 1/7 de cette charge de rupture, 420 kilogr., soit 60 kilogr. par centimètre carré pour les bois de chêne de bonne qualité. Pour des qualités moindres, on prend 50 kilogr. par centimètre carré et même seulement 40 kilogr.

Cornières égales				Cornières inégales			
DIMENSIONS en millimètres	POIDS par mètre	DIMENSIONS en millimètres	POIDS par mètre	DIMENSIONS en millimètres	POIDS par mètre	DIMENSIONS en millimètres	POIDS par mètre
	kil.		kil.		kil.		kil.
40×40 / 5	2,90	40×40 / 8	4,60	45×20 / 5	2,50	100×80 / 12	15,00
50×50 / 6	4,40	50×50 / 9	6,60	55×45 / 6	4,40	110×65 / 10	12,50
55×55 / 7	5,50	55×55 / 9	7,00	60×35 / 5	6,50	120×80 / 13	19,00
60×60 / 8	7,00	60×60 / 10	9,00	70×35 / 5	4,00	120×90 / 14	21,00
65×65 / 9	8,40	65×65 / 11	9,80	70×40 / 8	7,00	125×80 / 9	13,60
70×70 / 9	9,40	70×70 / 12	12,00	70×50 / 7	6,20	130×90 / 13	21,00
75×75 / 9	10,00	75×75 / 13	14,00	80×50 / 9	8,00	140×80 / 14	22,00
80×80 / 10	11,50	80×80 / 14	15,50	80×60 / 10	10,60	140×100 / 15	26,50
85×85 / 11	13,00	85×85 / 15	17,00	90×60 / 10	11,20	150×70 / 14	21,00
90×90 / 11	14,00	90×90 / 15	21,00	90×70 / 9	10,50	150×90 / 14	24,50
100×100 / 12	17,00	100×100 / 16	23,00	95×60 / 7	9,20	160×90 / 14	26,00
120×120 / 13	23,00	120×120 / 16	29,00	100×65 / 13	16,00	160×120 / 15	31,00

Pratiquement, on attribue aux poteaux en sapin les mêmes coefficients de sécurité, 60 kilogr., 50 kilogr. et 40 kilogr. par centimètre carré qu'aux poteaux en chêne, suivant les risques de la construction et suivant le degré de sécurité que l'on veut obtenir. C'est au constructeur à apprécier la qualité des matériaux qu'il emploie.

Des expériences de Rondelet sur la compression des bois Morin a déduit les chiffres suivants, r étant le rapport de la hau-

Fers plats. — *Poids approximatifs en kilogr. par mètre*

ÉPAISSEUR EN MILLIMÈTRE	LARGEUR EN MILLIMÈTRES																									
	27	29	32	34	36	38	40	45	47	50	54	61	65	68	75	81	90	95	100	108	135	160	200	220	250	300
	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.
9	1,89	2,00	2,24	2.38	2,52	2,76	2,80	3,15	3,29	3,50	3,78	4,20	4,55	4,68	5,25	5,58	6,30	6,65	7,00	7,44	9,45	11,15	14,00	15,40	17,50	21,00
11	2,31	2,44	2,74	2,91	3,08	3,25	3,42	3,85	4,02	4,28	4,62	5,13	5,50	5,72	6,42	6,82	7,70	7,99	8,56	9,08	11,56	13,60	17,10	18,80	21,40	25,68
14	2,94	3,11	3,48	3,70	3,92	4,14	4,36	4,90	5,12	5,45	5,88	6,53	7,03	7,28	8,17	8,67	9,81	10,35	10,90	11,56	14,71	17,30	21,80	23,90	27,25	32,70
16	3,36	3,55	3,98	4,23	4,48	4,73	4,98	5,60	5,85	6,23	6,71	7,47	8,10	8,32	9,34	9,90	11,20	11,83	12,46	13,22	16,81	19,78	24,92	27,30	31,15	37,38
18	3,78	3,99	4,48	4,76	5,04	5,32	5,60	6,30	6,58	7,00	7,56	8,40	9,11	9,36	10,50	11,15	12,60	13,31	14,01	14,88	18,91	22,30	28,02	30,70	35,00	42,03
20	4,20	4,44	4,98	5,29	5,60	5,91	6,23	6,98	7,31	7,78	8,39	9,33	10,12	10,40	11,68	12,36	14,01	14,79	15,57	16,52	21,02	24,72	31,14	34,10	38,90	46,71
23	4,83	5.11	5,73	6,07	6,44	6,81	7,16	8,05	8,27	8,95	9,64	10,74	11,62	11,96	13,44	14,25	16,11	16,72	17,91	19,00	24,17	28,45	35,82	39,20	44,75	53,73
25	5,25	5,55	6,24	6,60	7,00	7,39	7,78	8,75	9,15	9,73	10,48	11,67	12,64	13,00	14,60	15,49	17,51	18,49	19,47	20,66	26,27	30,95	38,94	42,60	48,65	58,41
27	5,67	6,00	6,75	7,13	7,56	7,98	8,40	9,45	9,75	10,52	11,35	12,60	13,66	14,04	15,76	16,73	18,91	19,45	21,02	22,30	28,38	33,40	42,04	46,00	52,60	63,06
29	6,09	6,45	7,25	7,66	8,12	8,57	9,02	10,14	10,51	11,30	12,18	13,53	14,62	15,08	16,94	17,97	20,31	21,45	22,59	23,96	30,49	35,88	45,18	49,40	56,50	68,77
32	6,72	7,12	8,00	8,44	8,96	9,47	9,98	11,19	11,46	12,46	13,43	14,94	16,18	16,12	18,70	19,83	22,41	23,67	24,92	26,42	33,64	39,60	49,84	54,50	62,30	74,76
34	7,14	7,56	8,49	8,98	9,52	10,06	10,60	11,89	12,22	13,24	14,27	15,87	17,20	17,68	19,85	21,07	23,81	25,15	26,47	28,08	35,74	42,10	52,94	57,90	66,20	79,41
36	7,56	8,00	8,98	9,52	10,08	10,65	11,22	12,58	13,00	14,00	15,14	16,80	18,21	18,72	21,02	22,31	25,21	26,63	28,03	29,74	37,84	44,55	56,06	61,30	70,00	84,09
38	7,98	8,44	9,47	10,05	10,64	11,24	11,84	13,30	13,78	14,78	15,98	17,73	19,22	19,76	22,18	23,55	26,61	28,11	29,59	31,38	39,95	47,00	59,18	64,70	73,90	88,77
40	8,40	8,89	9,96	10,58	11,20	11,83	12,46	14,00	14,58	15,56	16,80	18,66	20,24	20,80	23,36	24,78	28,01	29,58	31,14	33,04	42,04	49,45	62,28	68,10	77,80	93,42

teur du poteau rectangulaire à son plus petit côté, et P la charge du poteau par centimètre carré :

r...	12	14	16	18	20	22	24	28	32	36	40	48	60	72
	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg
P...	44,3	42	39,4	37	35	32,7	30	26	22	19,1	15,4	10,2	5,4	2,5

Les supports en sapin se font, en général, un peu plus forts que ceux en chêne.

Pour les constructions de durée, la charge permanente des bois ne doit pas dépasser le 1/10 de la charge de rupture des pièces dans les mêmes conditions, et pour les constructions temporaires ou de peu d'importance, le 1/6 ou le 1/5 au maximum.

Les pilots enfoncés complètement dans le sol se chargent de 30 à 34 kilogr., et même quelquefois plus, par centimètre carré de section.

Le poids du mètre cube varie de 930 à 1.220 kilogr. pour le chêne vert, de 643 à 1.015 kilogr. pour le chêne sec ; il est environ de 820 kilogr. pour le pin du Nord, 670 kilogr. pour le sapin jaune aurore, 540 kilogr. pour l'épicéa, et 460 kilogr. pour le sapin abies.

A la rigueur, le tableau ci-dessus, déduit des expériences de Rondelet, pourrait suffire dans les applications courantes. Mais, pour tenir compte si le poteau en bois est ou non encastré, nous donnons ci-après deux formules qui répondent à ces conditions.

Formule donnant la résistance des bois à la compression (L.-A. Barré). — Nous donnons une formule inédite qui peut servir à calculer la charge d'un poteau en bois de section carrée ou de section rectangulaire dans le cas où les extrémités sont encastrées.

Cette formule est déduite d'une formule générale qui permet de calculer la charge de compression d'un solide (Voy. Claudel et Barré, *Formulés, Tables*, t. I, p. 454) :

$$P = \frac{K.S}{1 + 0{,}00152 \left(\frac{l}{c}\right)^2}; \qquad (A)$$

P = *charge totale en kilogr. du poteau;*

l = *longueur du poteau ;*

c = *côté du poteau carré ou plus petit côté du poteau rectangulaire ;*

S = *section en centimètres carrés;*

K = *coefficient de sécurité dont la valeur est égale à* 60 *kilogr. pour le chêne fort et le sapin fort*, à 50. kilogr. pour une qualité moyenne et même à 40 kilogr. pour des bois faibles.

(Voir ci-après la formule pour les poteaux non encastrés.) Par

rapport au mode d'assujettissement du poteau (assujettissement qui produit une rigidité plus ou moins grande), on distingue plusieurs cas : 1° lorsque les deux bases du poteau sont bien dressées ou fortement maintenues (ce qui l'empêche de tourner), on dit que le poteau est doublement encastré ; 2° si les deux bouts du poteau sont arrondis, ce qui lui permet de tourner, on dit que le poteau n'est pas encastré ; 3° enfin, si l'un des bouts est arrondi, et l'autre fortement maintenu, cela compte pour un demi-encastrement.

La théorie et la pratique apprennent que la résistance du poteau encastré est beaucoup plus grande que celle du poteau non encastré. Le bénéfice de l'encastrement se résume ainsi : 1° pour deux poteaux de même section, portant des charges égales, la hauteur l du poteau doublement encastré est double de la hauteur du poteau non encastré ; 2° pour le poteau présentant un seul encastrement, à charge égale, sa hauteur est comprise entre les hauteurs des poteaux encastrés et non encastrés. D'une manière plus précise, pour trois poteaux, également chargés et diversement assujettis, les hauteurs proportionnelles sont les suivantes :

Poteau non encastré : hauteur $= 1$.

Poteau à un seul encastrement : hauteur $= \sqrt{2} = 1.414$.

Poteau doublement encastré : hauteur $= 2$.

Le tableau (p. 224) fait connaître les charges pratiques des poteaux en bois par centimètre carré, calculées par les formules précédentes, pour divers rapports de la hauteur du poteau carré à son côté avec les coefficients de sécurité, 60 kilogr., 50 kilogr. et 40 kilogr. par centimètre carré.

Charges pratiques par centimètre carré des poteaux carrés ou rectangulaires. — Formules :

Poteaux non encastrés : $$P = \frac{K.S}{1 + 0{,}0060\left(\frac{l}{c}\right)^2};$$

Poteaux doublement encastrés : $$P = \frac{K.S}{1 + 0{,}0015\left(\frac{l}{c}\right)^2};$$

P = *charge en kilogr. ;*

l = *longueur du poteau ;*

c = *côté du poteau carré au plus petit côté du poteau rectangulaire ;*

$\frac{l}{c}$ = *rapport de la hauteur du poteau au plus petit côté de sa section transversale ;*

S = *section du poteau en centimètres carrés ;*

K = *coefficient de sécurité égal* à 60, 50, ou 40 *kilogr. par centimètre carré.*

POTEAUX non ENCASTRÉS $\frac{l}{c}$	POTEAUX doublement ENCASTRÉS $\frac{l}{c}$	CHARGES DES POTEAUX CALCULÉES AVEC LES COEFFICIENTS DE SÉCURITÉ 60 kilogr. par centimètre carré	50 kilogr. par centimètre carré	40 kilogr. par centimètre carré
		kilogr.	kilogr.	kilogr.
5	10	52,17	43,48	34,79
5,5	11	50,77	42,31	33,25
6	12	49,33	41,11	32,89
6,5	13	47,88	39,90	31,92
7	14	46,36	38,64	30,92
7,5	15	44,85	37,38	29,91
8	16	43,34	36,12	28,90
8,5	17	41,84	34,87	27,90
9	18	40,36	33,64	26,92
9,5	19	38,91	32,43	25,95
10	20	37,50	31,25	25,00
10,5	21	36,10	30,10	24,00
11	22	34,75	28,96	23,17
11,5	23	33,42	27,85	22,28
12	24	32,18	26,82	21,46
12,5	25	30,96	25,80	20,64
13	26	29,68	24,82	19,96
13,5	27	28,65	23,88	19,11
14	28	27,56	22,97	18,36
14,5	29	26,52	22,10	17,68
15	30	25,51	21,26	17,01
15,5	31	24,56	20,47	16,38
16	32	23,65	19,71	15,77
16,5	33	22,75	18,96	15,17
17	34	21,93	18,28	14,63
17,5	35	21,14	17,62	14,10
18	36	20,37	16,98	13,59
18,5	37	19,65	16,38	13,11
19	38	18,96	15,80	12,64
19,5	39	18,27	15,23	12,19
20	40	17,64	14,70	11,76
20,5	41	17,04	14,20	11,36
21	42	16,45	13,71	10,97
21,5	43	15,90	13,25	10,60
22	44	15,34	12,79	10,24
22,5	45	14,85	12,38	10,11
23	46	14,36	11,97	9,58
23,5	47	13,89	11,58	9,27
24	48	13,44	11,20	8,96
24,5	49	13,02	10,85	8,68
25	50	12,62	10,52	8,42
25,5	51	12,24	10,20	8,16
26	52	11,85	9,88	7,91
26,5	53	11,49	9,58	7,67
27	54	11,16	9,30	7,44
27,5	55	10,82	9,02	7,22
28	56	10,51	8,76	7,01
28,5	57	10,20	8,50	6,80
29	58	9,91	8,26	6,61
29,5	59	9,62	8,02	6,42
30	60	9,36	7,80	6,24

Nota. — La charge pratique d'un poteau en bois de section carrée ou rectangulaire s'obtiendra en multipliant la charge par centimètre carré (donnée au tableau précédent) par la section transversale du poteau, exprimée en centimètres carrés (Voir *les exemples ci-après*).

Description du tableau (p. 224) **et applications de ce tableau à la résistance des poteaux en bois.** — Dans ce tableau la première colonne à gauche comprend le rapport de la hauteur du poteau rectangulaire à son plus petit côté pour le cas où le poteau n'est pas encastré. La deuxième colonne donne le même rapport pour le cas où le poteau peut être considéré comme encastré à ses deux extrémités.

Il importe de remarquer que les nombres de la deuxième colonne sont doubles de ceux de la première.

En lisant le tableau par lignes horizontales, il faut faire correspondre chacun des nombres des deux premières colonnes à chacun des nombres des deux dernières colonnes.

Ainsi, la première ligne horizontale du tableau apprend que, pour un poteau carré ou rectangulaire, non encastré, présentant 5 pour le rapport de sa hauteur à son plus petit côté, la charge par centimètre carré (avec le coefficient 60 kilogr. par centimètre carré) est $52^{kg},17$ (3e colonne). Il faut observer qu'un poteau encastré, présentant 10 pour le rapport de sa hauteur à son plus petit côté, donne par centimètre carré la même charge $52^{kg},17$ dans les mêmes conditions de sécurité. Même observation par rapport aux deux autres coefficients de sécurité.

La 4e colonne donne pour les charges par centimètre carré des deux poteaux considérés, de hauteurs différentes, le chiffre unique $43^{kg},48$, calculé avec le coefficient de sécurité 50 kilogr. par centimètre carré ; la dernière colonne donne $34^{kg},79$ avec le coefficient 40 kilogr. par centimètre carré.

Applications du tableau. — Premier exemple. — *Calculer la charge d'un poteau carré en chêne fort de* $4^m,20$ *de hauteur dont le côté est* $0^m,20$.

Solution. — Admettons un double encastrement, ce qui est le cas le plus ordinaire. Le rapport de la hauteur du poteau à son côté est :

$$\frac{4^m,20}{0^m,20} = 21.$$

Dans le tableau page 224, ce rapport 21, lu dans la 2e colonne, donne (3e colonne) $36^{kg},10$ pour la charge par centimètre carré avec le coefficient 60 kilogr. par centimètre carré ; par suite, on obtiendra la charge totale du poteau en multipliant $36^{kg},11$ par la section $(21 \times 21) = 441$ centimètres carrés ; ce qui donne :

$$P = 36,10 \times 441 = 14.840 \text{ kilogr.}$$

Avec le coefficient 50 kilogr., la charge par centimètre carré est de $30^{kg},10$, d'où la charge totale du poteau serait :

$$P' = 30^{kg},10 \times 441 = 13.270 \text{ kilogr.}$$

Second exemple. — *Soit donné un poteau rectangulaire en chêne fort de $4^m,20$ de hauteur dont la section est $0^m,25 \times 0^m,20 = 500$ centimètres carrés. On propose de calculer sa résistance ?*

Solution. — Le rapport de la hauteur du poteau à son plus petit côté est, comme dans le problème précédent :

$$\frac{4^m,20}{0^m,20} = 21.$$

Par suite, la charge par centimètre carré du poteau doublement encastré, par exemple, et calculée avec le coefficient 60 kilogr. par centimètre carré est, comme dans le problème précédent, $36^{kg},10$, et la charge totale :

$$P = 36,10 \times 500 = 18.050 \text{ kilogr.}$$

Bois ronds soumis à la compression. — Les poteaux cylindriques ne sont guère employés dans les constructions ; cependant, par exception, il peut être utile de se rendre compte de leur résistance.

On obtient une approximation suffisante en calculant la résistance du poteau carré de section équivalente à celle du poteau cylindrique.

Exemple. — *Soit à calculer la charge d'un poteau cylindrique en bon bois de sapin de $0^m,20$ de diamètre.*

Calculons la section du poteau cylindrique. Soit :

$$S' = \pi \frac{D^2}{4} = 314 \text{ centimètres carrés.}$$

Le côté du carré équivalent à cette section circulaire est :

$$c = \sqrt{314,16} = 0^m,177.$$

Prenons le rapport de la hauteur du poteau carré à son côté, soit :

$$\frac{0^m,177}{4^m,00} = 22,6,$$

ou approximativement 23. Avec ce rapport, le tableau (p. 224), donne pour le poteau encastré avec le coefficient 60 kilogr. par centimètre carré, la charge de $33^{kg},42$ par centimètre carré ; par suite, la charge totale du poteau cylindrique est :

$$33,42 \times 314 = 10.500 \text{ kilogr.}$$

Répartition des pressions qu'une poutre ou solive continue exerce sur plusieurs appuis lorsqu'elle est chargée uniformément. — *Cette répartition est applicable aux solives, soit en bois,*

soit en métal, fer ou fonte. — Cette répartition trouve son application dans le calcul d'un poitrail soulagé par une ou deux colonnes intermédiaires et aussi pour les poutres armées et pour les fermes à la Polonceau.

Dans le cas d'une seule colonne intermédiaire (*fig.* 49), l'appui peut être placé d'une manière quelconque ; dans le cas de deux colonnes intermédiaires (*fig.* 50), le plus souvent, elles sont placées symétriquement par rapport aux deux murs extrêmes. Nous considérerons seulement ces deux cas qui sont les plus fréquents. Nous avons dressé des tableaux qui donnent la pression sur les appuis dans l'hypothèse d'une charge uniforme et pour les deux dispositions des figures ci-contre.

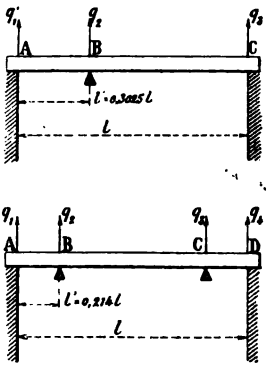


Fig. 49 et 50.

Le tableau n° 1 se rapporte à un seul support ou colonne intermédiaire, et le tableau n° 2 donne les pressions sur les appuis dans le cas de deux colonnes intermédiaires placées symétriquement.

Dans ces tableaux la première colonne à gauche exprime la distance de l'appui intermédiaire à l'appui A en centièmes de la longueur totale de la poutre depuis 0,50 de cette longueur jusqu'à 0,20 de cette même longueur.

La deuxième colonne des tableaux fait connaître le moment fléchissant sur l'appui intermédiaire B.

Les colonnes 3, 4 et 5 des tableaux donnent les pressions sur les appuis exprimées en fraction de la charge totale et uniforme pl de la poutre, l étant la longueur totale de la poutre, et p la charge en kilogrammes par mètre courant.

Remarque. — Pour $l' = 0{,}3025\ l$ (un peu moins que le tiers de la longueur de la poutre), la réaction q_1 sur l'appui A (à gauche) est nulle.

Pour des valeurs l' plus petites que $0{,}3025l$, la réaction q_1 sur A est négative, c'est-à-dire que la poutre tend à se soulever; en même temps, la pression sur l'appui intermédiaire B augmente constamment. La conséquence pratique, c'est qu'il ne faut pas faire usage d'un support intermédiaire pour des valeurs de l' plus petites que $l' = 0{,}3l$ (environ), par la raison que, pour ces valeurs plus petites, l'appui A (à gauche) devient non seulement inutile, mais même nuisible par suite de l'effort de soulèvement qui en résulte.

TABLEAU N° 1. — **Poutre à deux travées (un seul support intermédiaire, *fig.* 49)**

DISTANCE du support INTERMÉDIAIRE à l'appui A (*à gauche*)	MOMENT fléchissant M sur l'appui INTERMÉDIAIRE B	PRESSION q_1 sur L'APPUI A (*à gauche*)	PRESSION q_2 sur l'appui INTERMÉDIAIRE B	PRESSION q_3 sur L'APPUI C (*à droite*)
0,50 l	0,031.25 pl^2	0,1875 pl	0,625 pl	0,1875 pl
0,49	0,031.287	0,1812	0,6254	0,1933
0,48	0,031.400	0,1746	0,6259	0,1996
0,47	0,031.587	0,1677	0,6270	0,2054
0,46	0,031.850	0,1607	0,6283	0,2110
0,45	0,032.187	0,1536	0,6303	0,2163
0,44	0,032.600	0,1459	0,6328	0,2214
0,43	0,033.087	0,1380	0,6350	0,2267
0,42	0,033.650	0,1298	0,6383	0,2319
0,41	0,034.875	0,1213	0,6418	0,2368
0,40	0,035.000	0,1125	0,6459	0,2416
0,39	0,035,787	0,1033	0,6505	0,2463
0,38	0,036.650	0,0935	0,6556	0,2508
0,37	0,037.587	0,0833	0,6611	0,2554
0,36	0,038.600	0,0727	0,6676	0,2596
0,35	0,039.687	0,0615	0,6747	0,2639
0,34	0,040.850	0,0498	0,6820	0,2681
0,33	0,042.087	0,0375	0,6900	0,2722
0,32	0,043.400	0,02437	0,6995	0,2761
0,31	0,044.787	0,01058	0,7094	0,2800
0,3025	0,045.750	0,00000	0,7198	0,2802
0,30	0,046.250	— 0,00416	0,7202	0,2839
0,29	0,047.787	— 0,01976	0,7321	0,2876
0,28	0,049.400	— 0,03642	0,7450	0,2913
0,27	0,051.087	— 0,05435	0,7593	0,2950
0,26	0,052.850	— 0,07326	0,7749	0,2985
0,25	0,054.687	— 0,09372	0,7917	0,3020
0,24	0,056.600	— 0,1158	0,8103	0,3055
0,23	0,058.587	— 0,1397	0,8308	0,3089
0,22	0,060.650	— 0,1656	0,8535	0,3123
0,21	0,062.787	— 0,1939	0,8784	0,3155
0,20	0,065.000	— 0,2250	0,9063	0,3187

NOTA. — L'application du tableau précédent exige que les poutres reposent sur trois appuis, tous au même niveau, ou, d'une manière plus précise, que les points d'appui soient en ligne droite. S'il n'en est pas ainsi, on ne peut appliquer le tableau précédent.

Poutre continue à trois travées disposées symétriquement et chargées uniformément. — Le tableau ci-après fait connaître les pressions qu'une poutre, chargée uniformément, exerce sur quatre appuis disposés symétriquement et de niveau.

La première colonne à gauche donne la distance du support intermédiaire à l'appui A. Le moment fléchissant sur l'appui intermédiaire est inscrit dans la deuxième colonne.

La troisième colonne donne la pression sur les appuis extrêmes A et B.

La quatrième colonne donne les pressions sur les appuis intermédiaires placés symétriquement.

TABLEAU N° 2. — **Poutre à trois travées (disposées symétriquement). — Deux supports intermédiaires** (*fig.* 50)

DISTANCE des supports intermédiaires aux appuis extrêmes $l' =$	MOMENT FLÉCHISSANT sur chacun des appuis intermédiaires B et C	PRESSIONS sur les appuis extrêmes A et D $q_1 = q_4$	PRESSION $q_2 = q_3$ sur les appuis intermédiaires B et C
$0,50\,l$	$\frac{1}{32} = 0,03125\,pl^2$	$\frac{3}{16} = 0,1875\,pl$	$0,3125\,pl$
0,49	0,02828	0,1873	0,3127
0,48	0,02561	0,1866	0,3133
0,47	0,02322	0,1856	0,3144
0,46	0,02108	0,1846	0,3154
0,45	0,01919	0,1820	0,3179
0,44	0,01752	0,1802	0,3198
0,43	0,01610	0,1775	0,3225
0,42	0,01480	0,1747	0,3253
0,41	0,01374	0,1715	0,3286
0,40	0,01285	0,1671	0,3321
0,39	0,01214	0,1633	0,3362
0,38	0,01160	0,1594	0,3406
0,37	0,01216	0,1547	0,3453
0,36	0,01099	0,1491	0,3509
0,35	0,01092	0,1438	0,3562
0,3498	0,0103 minimum	0,14568	0,35632
0,34	0,010986	0,1377	0,3623
$0,333 = \frac{1}{3}$	$0,01111 = \frac{1}{90}$	0,1333	0,3666
0,33	0,01119	0,1319	0,3686
0,32	0,01154	0,1238	0,3762
0,31	0,01205	0,1159	0,3841
0,30	0,01264	0,1079	0,3921
0,29	0,01338	0,0988	0,4010
0,28	0,01424	0,0891	0,4109
0,27	0,01523	0,0786	0,4214
0,26	0,01634	0,0671	0,4329
0,25	0,01758	0,0546	0,4453
0,24	0,01892	0,0414	0,4588
0,23	0,02044	0,0261	0,4738
0,22	0,02196	0,0101	0,4898
0,21419	0,022938	0,00000	0,500
0,21	0,02365	— 0,007619	0,5076
0,20	0,025454	— 0,05454	0,52727

REMARQUE. — Pour $l' = 0,5l$, les deux appuis intermédiaires sont réunis en un seul, qui serait placé au milieu de la portée de la poutre. Le tableau donne pour cette valeur $l' = 0,5l$, la valeur

du moment fléchissant égale à $0{,}3125pl^2$ sur chacun des appuis intermédiaires et, pour les deux appuis réunis, on doit prendre, au milieu de AD, une valeur double ou $0{,}03125pl^2 \times 2 = 0{,}6250pl^2$, qui est celle donnée pour une poutre soutenue en son milieu.

De même, la pression sur chacun des appuis intermédiaires étant $q = 0{,}3125pl$, il en résulte que les deux appuis réunis donnent une pression double ou

$$0{,}3125pl \times 2 = 0{,}6250pl = \frac{5}{8}pl.$$

Ainsi le système se réduit à une poutre à deux travées égales, soutenue en son milieu.

A mesure que les appuis intermédiaires se rapprochent des appuis extrêmes, le moment fléchissant sur les appuis intermédiaires diminue, et pour $l' = 0{,}21419l$ (environ le 1/5 de la portée entière l) le moment fléchissant est nul sur C et D. En même temps, la pression $q_1 = q_4$ sur les appuis extrêmes diminue, et pour cette limite $l' = 0{,}21419l$, cette pression est nulle, et elle devient négative pour des valeurs de l' plus petites que $0{,}21419l$, c'est-à-dire que la poutre tend à se soulever. Le tableau montre que la charge des appuis intermédiaires augmente pour les valeurs de l' comprises entre $1/2l$ (répondant au milieu de la portée) et cette limite $l' = 0{,}21419l$. Enfin, pour des valeurs de l' plus petites que $0{,}21419l'$, l'*effort* sur les appuis intermédiaires est plus grand que la moitié de la charge totale.

La conséquence pratique de cette particularité, c'est qu'on doit éviter de placer les appuis intermédiaires (poteaux ou colonnes) à des distances des appuis extrêmes moindres que $l' = 0{,}21419l$. En général, lorsque la poutre présente trois travées, on les fait égales. C'est une disposition qui répond à peu près à la situation la plus économique ; puisque le tableau montre que le moment fléchissant minimum sur les appuis intermédiaires répond à l'écartement $l' = 0{,}34979l$ (un peu plus grand que le 1/3 de la portée).

Applications des deux tableaux précédents. — PREMIER EXEMPLE. — *Une poutre de 6 mètres de longueur est soulagée par une colonne métallique, placée à* $2^m{,}40$ *de l'un des murs. Elle porte* 500 *kilogr. par mètre; déterminer la pression sur les trois appuis* (*fig.* 51, A).

SOLUTION. — La charge totale $pl = 500^{kg} \times 6 = 3.000^{kg},0$. Prenons le rapport

$$\frac{2^m{,}40}{6^m} = 0{,}40.$$

Le tableau (p. 228) donne pour les pressions :

En A sur l'appui extrême à gauche....	$0{,}1125\ pl =$	$340^{kg},00$
En B sur la colonne.....	$0{,}6459\ pl =$	$1935^{kg},00$
En C sur l'appui extrême à gauche....	$0{,}2416\ pl =$	$725^{kg},00$

Le moment fléchissant en B a pour valeur :

$$M = 0{,}035pl^2 = 630 = R\,\frac{I}{n}.$$

SECOND EXEMPLE. — *Un poitrail de 7 mètres de longueur est soulagé par deux colonnes intermédiaires, placées symétriquement et chacune à* $1^m{,}95$ *du mur voisin. La charge totale et uniforme du poitrail est évaluée* 42.000 *kilogr. Calculer la charge des appuis (fig.* 52, B).

SOLUTION. — Prenons le rapport

$$\frac{1^m{,}95}{7^m{,}00} = 28 \text{ (approximativement).}$$

Pour ce rapport, le tableau (p. 229) donne pour les pressions :

Sur chacun des appuis extrêmes,
0,0671 pl = 2.820^{kg},00.

Sur chacun des appuis intermédiaires,
0,4329 pl = 18.180^{kg},00.

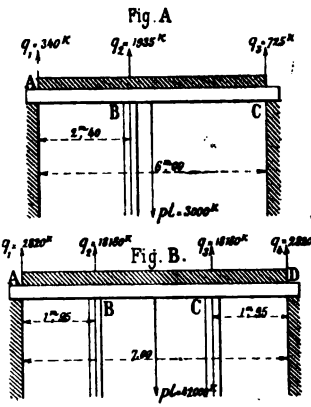


Fig. 51 et 52.

Le moment fléchissant sur chacun des appuis intermédiaires a pour valeur :

$$M = 0{,}01634pl^2 = 1.864 \text{ (environ),}$$

valeur d'après laquelle on calculera la section du poitrail, en écrivant :

$$M = R\,\frac{I}{n},$$

en rapportant R au mètre carré et $\frac{I}{n}$ au mètre.

Résistance des bois à la flexion. — Nous rappelons la formule générale (p. 207) qui donne la charge uniforme d'une solive reposant librement par ses extrémités sur deux appuis :

$$\frac{pl^2}{8} = R\left(\frac{I}{n}\right), \qquad (1)$$

formule dans laquelle :

pl = *charge totale et uniforme de la solive en kilogr.;*

R = *coefficient de sécurité que l'on prend égal à* 60, 50 *et* 40 *kilogr. par centimètre carré, ou* 600.000, 500.000 *et* 400.000 *par rapport au mètre carré;* $\frac{I}{n}$ = *module de section.*

Pour les solives en bois, la section est rectangulaire ; la hauteur de la solive étant désignée par h et sa largeur horizontale par b, on a pour le module de section :

$$\frac{I}{n} = \frac{bh^2}{6} = \frac{Sh}{6}. \qquad (2)$$

$S = bh$ est la section transversale de la solive. Suivant les applications, on prend $b = h$, $b = \frac{3}{4}h$ ou $b = \frac{1}{2}h$.

Remplaçant dans (1) la quantité $\frac{I}{n}$ par sa valeur (2), il vient:

$$\frac{pl^2}{8} = RS\frac{h}{6},$$

d'où :

$$pl = \frac{8}{6}RS\left(\frac{h}{l}\right) = \frac{4}{3}RS\left(\frac{h}{l}\right).$$

Si l'on rapporte R et la section transversale S de la solive au centimètre carré, on déduit de la relation précédente le quotient :

$$Q = \frac{pl}{S} = \frac{4}{3}R\left(\frac{h}{l}\right), \qquad (3)$$

que nous considérerons numériquement comme *la charge moyenne de flexion par centimètre carré de la section transversale* S. Il en résulte que cette charge moyenne est proportionnelle au rapport $\frac{h}{z}$ et que *la charge* totale a pour expression numérique :

$$pl = QS,$$

c'est-à-dire le produit de la charge moyenne par la section, exprimée en centimètres carrés.

Nous donnons ci-après un tableau des *charges moyennes de flexion* des solives en bois, calculées par la formule (3), en faisant varier le rapport de la longueur de la solive à sa hauteur verticale.

Nota. — Les bois ne présentent pas une texture homogène. Les déviations de leurs fibres doivent avoir une grande influence sur leur résistance à la flexion. Malgré ces irrégularités, on applique aux bois les formules relatives à la flexion plane, comme s'ils obéissaient aux lois de cette flexion plane. C'est là évidemment une application qui laisse à désirer. Aussi, quand il s'agit de flexion, doit-on faire travailler les bois à un taux très modéré pour ne pas éprouver de mécompte. Il n'en est pas de même des fers laminés à planchers qui présentent une texture fibreuse régulière, laquelle leur permet de fléchir sans se rompre brusquement et d'obéir aux lois admises dans la théorie de la flexion.

Tableau donnant les charges pratiques et moyennes de flexion par centimètre carré de la section transversale des solives rectangulaires en bois avec les coefficients de sécurité R = 60, 50 et 40 kilogr. par centimètre carré.

RAPPORT $\left(\frac{l}{h}\right)$ de la portée de la solive à sa hauteur	CHARGES DE FLEXION Q PAR CENTIMÈTRE CARRÉ avec les coefficients			RAPPORT $\left(\frac{l}{h}\right)$ de la portée de la solive à sa hauteur	CHARGES DE FLEXION Q PAR CENTIMÈTRE CARRÉ avec les coefficients		
	60 kilogr. par cent. carré	50 kilogr. par cent. carré	40 kilogr. par cent. carré		60 kilogr. par cent. carré	50 kilogr. par cent. carré	40 kilogr. par cent. carré
	kilogr.	kilogr.	kilogr.		kilogr.	kilogr.	kilogr.
8	10	8,33	6,66	24,5	3,26	2,72	2,18
8,5	9,40	8,33	6,66	25	3,20	2,66	2,13
9	8,88	7,84	6,28	25,5	3,13	2,61	2,09
9,5	8,41	7,01	5,61	26	3,07	2,36	2,04
10	8,00	6,66	5,33	26,5	3,01	2,51	2,01
10,5	7,60	6,34	5,08	27	2,96	2,46	1,97
11	7,27	6,06	4,84	27,5	2,90	2,42	1,94
11,5	6,94	5,79	4,63	28	2,85	2,37	1,90
12	6,66	5,55	4,44	28,5	2,78	2,32	1,86
12,5	6,39	5,33	4,27	29	2,75	2,29	1,83
13	6,15	5,12	4,10	29,5	2,71	2,26	1,81
13,5	5,91	4,93	3,95	30	2,66	2,22	1,77
14	6,71	4,76	3,80	30,5	2,61	2,18	1,75
14,5	5,50	4,59	3,68	31	2,58	2,15	1,72
15	5,33	4,44	3,55	31,5	2,53	2,11	1,69
15,5	5,16	4,30	3,44	32	2,50	2,08	1,66
16	5,00	4,16	3,33	32,5	2,46	2,05	1,64
16,5	4,84	4,04	3,24	33	2,42	2,01	1,61
17	4,70	3,91	3,13	33,5	2,38	1,99	1,59
17,5	4,56	3,80	3,04	34	2,35	1,96	1,56
18	4,44	3,70	2,96	34,5	2,31	1,93	1,55
18,5	4,32	3,60	2,88	35	2,29	1,91	1,52
19	4,21	3,51	2,80	35,5	2,24	1,87	1,50
19,5	4,10	3,42	2,74	36	2,22	1,85	1,48
20	4,00	3,33	2,66	36,5	2,18	1,82	1,46
20,5	3,89	3,25	2,60	37	2,16	1,80	1,44
21	3,81	3,17	2,54	37,5	2,11	1,76	1,41
21,5	3,72	3,10	2,48	38	2,10	1,75	1,40
22	3,63	3,02	2,42	38,5	2,07	1,73	1,39
22,5	3,55	2,96	2,37	39	2,05	1,70	1,36
23	3,47	2,89	2,31	39,5	2,01	1,68	1,35
23,5	3,39	2,83	2,27	40	2,00	1,66	1,33
24	3,33	2,77	2,22				

Charges moyennes de flexion des poutres et des solives en bois par centimètre carré de leurs sections transversales. — FORMULE :

$$Q = \frac{pl}{S} = \frac{4}{3} R \left(\frac{h}{l}\right).$$

Q = *charge moyenne par centimètre carré de la section transversale de la solive* (en kilogr.).

h = *hauteur de la solive;*
l = *portée de la solive;*
S = *section transversale de la solive en centimètres carrés;*
R = 40, 50 *et* 60 *kilogr. par centimètre carré;*
$\frac{l}{h}$ = *rapport de la portée de la solive à sa hauteur.*

Nota. — En multipliant la charge moyenne de flexion, donnée au tableau précédent, par la section d'une solive, exprimée en centimètres carrés, on obtient la charge totale et uniforme de la solive.

Résistance des bois ronds à la flexion. — Bien rarement, dans les constructions courantes, les bois ronds ou cylindriques sont employés pour résister à la flexion; mais il est facile d'en calculer la résistance.

Si l'on compare le module de section du carré à celui du cercle inscrit, on trouve que ce dernier est environ les 3/5 du module de section du carré; d'où l'on conclut que la charge uniforme de flexion d'un cylindre est environ les 3/5 de celle de la solive carrée circonscrite à la solive cylindrique, le coefficient de travail étant le même ainsi que la portée.

Applications du tableau précédent. — Premier problème. — *Calculer la charge uniforme que peut porter une solive* AB *en bois de chêne fort de* 3m,20 *de longueur dont l'équarrissage est* 15 × 20 = 300 *centimètres carrés (la grande dimension étant verticale) (fig.* 53).

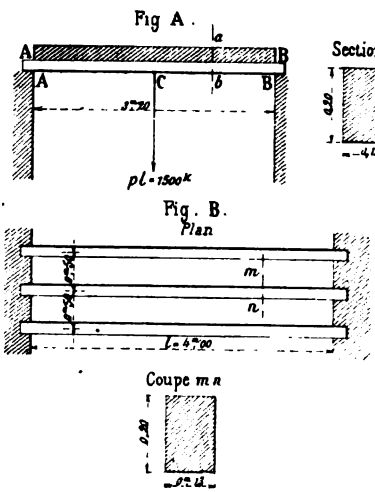


Fig. 53 et 54.

Solution. — Prenons le rapport de la portée 3m,20 de la solive à sa hauteur verticale; soit :

$$\frac{3^m,20}{0^m,20} = 16.$$

Pour ce rapport 16, le tableau (p. 233) donne, avec le coefficient, 60 kilogr. par centimètre carré, la charge moyenne de flexion de 5 kilogr. par centimètre carré (de la section transversale de la solive). Par suite, la charge totale et uniforme de la solive (15 × 20 = 300 centimètres carrés) sera :

$$pl = 5 \times 300 = 1.500 \text{ kilogr.}$$

On calculera de même la charge de la solive avec les coefficients 50 et 40 kilogr. par centimètre carré.

Nous rappelons que, si la charge était appliquée au milieu de la portée de la solive, elle se réduirait à moitié, c'est-à-dire à 750 kilogr.

Poutre carrée et poutre cylindrique en bois. — Pour une poutre de section carrée de $0^m,20 \times 0^m,20$ de même portée, $3^m,20$, que la précédente, la charge uniforme de flexion serait (avec le coefficient maximum de 60 kilogr. par centimètre carré) :

$$pl = 5 \times 20 \times 20 = 2.000 \text{ kilogr.}$$

Pour un cylindre de bois de $0^m,20$ de diamètre de même portée, $3^m,20$, la charge uniforme de flexion serait (voir p. 239) les $\frac{3}{5}$ de celle de la poutre carrée, soit :

$$pl = \frac{3}{5} \times 2.000 = 1.200 \text{ kilogr.}$$

dans les mêmes conditions de sécurité.

Second problème. — *Calculer l'équarrissage d'une solive en bois de chêne fort d'une portée de* $3^m,20$ *qui doit recevoir une charge totale et uniforme de* 1.500 kilogr.

Solution. — Admettons un certain rapport entre la portée de la solive et sa hauteur verticale ; soit, par exemple, ce rapport égal à 16 ; d'où la hauteur de la solive est égale à :

$$\frac{3^m,20}{16} = 0^m,20.$$

Pour ce rapport 16, la charge moyenne de flexion, calculée avec le coefficient 60 kilogr. (par cent. carré), est de 5 kilogr. (voir tableau, p. 233) ; par suite, la section nécessaire de la solive est donnée par le quotient :

$$\frac{1500}{5} = 300 \text{ centimètres carrés.}$$

La base de la solive est donc :

$$\frac{300}{20} = 15 \text{ centimètres,}$$

et son équarrissage est :

$$15 \times 20 = 300 \text{ centimètres carrés.}$$

Remarque. — La question précédente présente évidemment une infinité de solutions si l'on peut disposer de la hauteur de la solive ; mais, si la hauteur de la solive est imposée, $0^m,16$ par exemple, il est facile d'en calculer la largeur ou dimension transversale.

IY

A cet effet on prend le rapport de la portée de la solive à sa hauteur, soit :

$$\frac{3^m,20}{16} = 20.$$

Pour ce rapport, le tableau (p. 233) donne 4 kilogr. par centimètre carré pour la charge moyenne de flexion (calculée avec le coefficient maximum 60 kilogr.) ; par suite, la section nécessaire pour porter 1.500 kilogr. est donnée par le quotient :

$$\frac{1.500}{4} = 375 \text{ centimètres carrés,}$$

d'où la base ou dimension transversale de la solive est :

$$\frac{375}{16} = 23,5 \text{ (centimètres).}$$

L'équarrissage de la solive pour ce cas particulier serait donc :

$$23,5 \times 20 \text{ (centimètres),}$$

c'est-à-dire que la solive serait plus large que haute, circonstance résultant de ce que la hauteur de la solive était donnée à l'avance et qu'il fallait satisfaire à une charge donnée.

Troisième problème. — *Un plancher est constitué par des solives équidistantes en sapin fort et doit recevoir une charge uniforme de 500 kilogr. par mètre carre ; on se propose de déterminer l'équarrissage des solives (fig. 54).*

Solution.—Adoptons un écartement de solives égal à $0^m,50$ d'axe en axe. Chaque solive porte une fraction du plancher égale à :

$$4^m \times 0^m,50 = 2 \text{ mètres carrés,}$$

d'où la charge uniforme par solive est :

$$pl = 500 \times 2 = 1.000 \text{ kilogr.}$$

Cela étant, l'équarrissage des solives peut se déterminer par le tableau de la page 233. A cet effet, admettons un certain rapport, 20 par exemple, entre la portée 4 mètres de la solive et sa hauteur verticale ; d'où la hauteur de la solive a pour valeur :

$$\frac{4^m}{0^m,20} = 0^m,20.$$

Pour le rapport 20 de la longueur de la solive à sa hauteur, le tableau de la page 233 donne 41 kilogr. pour la charge moyenne de flexion par centimètre carré (avec le coefficient de sécurité 60 kilogr. par centimètre carré). On en déduit la section nécessaire de la solive par le quotient :

$$\frac{1.000}{4} = 250 \text{ centimètres carrés,}$$

et, comme la hauteur de la solive a été prise égale à 20 centimètres, il en résulte que sa base ou dimension transversale est :

$$b = \frac{250}{28} = 12{,}5 \text{ (centimètres).}$$

L'équarrissage de la solive est donc :

$$0^m{,}20 \times 0^m{,}125.$$

Solution par le calcul. — Partons de la formule :

$$\frac{pl^2}{8} = R\left(\frac{I}{n}\right). \qquad (1)$$

Pour le profil rectangulaire de la solive, le module de section a pour expression :

$$\frac{I}{n} = \frac{bh^2}{6}, \qquad (2)$$

b et h étant la base et la hauteur du profil de la solive.

Prenons $b = \frac{2}{3} h$, d'où (2) donne :

$$\frac{I}{n} = \frac{1}{9} h^3 ;$$

par suite, (1) devient :

$$\frac{pl^2}{8} = R \frac{h^3}{9}. \qquad (3)$$

En prenant la charge totale $pl = 1.000$ kilogr., $R = 60$ kilogrammes par centimètre carré ou 600.000 kilogr. par mètre carré, et $l = 4$ mètres, on déduit de (3) :

$$pl = \frac{8R}{9l} h^3,$$

ou

$$1.000 = \frac{8 \times 600.000}{9 \times 4^m} h^3;$$

d'où :

$$h = \sqrt[3]{7.500} = 19{,}57 \text{ (centimètres)};$$

par suite :

$$b = \frac{2}{3} h = 13 \text{ (centimètres)};$$

l'équarrissage est donc en nombres ronds :

$$0^m{,}13 \times 0^m{,}196$$

ou

$$0^m{,}13 \times 0^m{,}20.$$

Calcul d'un poitrail ou d'une maîtresse poutre portant des solives équidistantes et également chargées. — Si les solives sont

très rapprochées, on fait souvent le calcul de la poutre principale comme si elle était chargée uniformément ; c'est le cas le plus fréquent. C'est une solution rapide qui donne un équarrissage trop faible.

Si les solives sont très éloignées les unes des autres, on peut tenir compte de cette disposition par une règle très simple que nous allons rappeler.

Soit (*fig.* 55) une solive AB portant deux charges isolées P, P' égales et divisant la portée en trois parties égales ; le calcul apprend que le moment fléchissant est le même en tout point de CD ; de plus, une charge unique P', appliquée au milieu de la portée, produit en ce point milieu un moment fléchissant égal au précédent, lorsque cette charge unique satisfait à la relation :

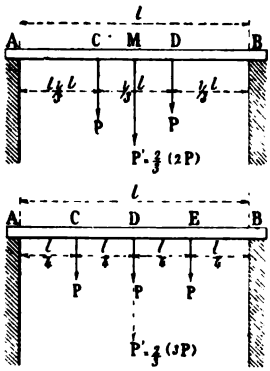


Fig. 55 et 56.

$$P' = \frac{2}{3}(P + P) = \frac{2}{3}(2P),$$

c'est-à-dire que cette charge P' est les 2/3 de la charge totale. La figure 56 présente un résultat analogue. Ici trois charges égales divisent la portée AB en quatre parties égales. A cause de la symétrie, le moment fléchissant maximum est au milieu D de la portée. Une charge unique P', appliquée au milieu D, produit en ce point un moment fléchissant égal au précédent lorsque cette charge P' satisfait à la relation :

$$P' = \frac{2}{3}(P + P + P) = \frac{2}{3}(3P);$$

ainsi, comme dans le cas de la figure 56, la charge P' est les 2/3 de la charge totale.

En continuant ainsi pour les cas de 4 et 5 poids égaux, puis de 6 et 7 poids égaux, etc., la portée étant divisée en parties égales, on forme le tableau suivant qui fait connaître le poids central P' qui, appliqué au milieu de la portée, donne un moment fléchissant égal au maximum du moment fléchissant calculé pour des charges égales et équidistantes.

NOMBRE de POIDS ÉGAUX	CHARGE TOTALE appliquée SUR LA SOLIVE	CHARGE CENTRALE P' EXPRIMÉE EN FRACTIONS de la charge totale
1	P	$P' = P \times \frac{1}{1}$ = charge totale.
2 et 3	2P ou 3P	$P' = \frac{2}{3}$ de la charge totale.
4 et 5	4P ou 5P	$P' = \frac{3}{5}$ —
6 et 7	6P ou 7P	$P' = \frac{4}{7}$ —
8 et 9	8P ou 9P	$P' = \frac{5}{9}$ —
10 et 11	10P ou 11P	$P' = \frac{6}{11}$ —
12 et 13	12P ou 13P	$P' = \frac{7}{13}$ —

Ainsi, pour chaque couple de poids égaux, savoir : 2 et 3 poids égaux, le poids central équivalent est les 2/3 de la charge totale. Pour 4 et 5 poids égaux, le poids central équivalent est les 4/5 de la charge totale, etc. La loi numérique des valeurs de P' est facile à énoncer : les numérateurs des fractions $\frac{1}{1}, \frac{2}{3}, \frac{3}{5}, \frac{4}{7}$, etc., sont les nombres consécutifs 1, 2, 3, 4, etc., et les dénominateurs, les nombres impairs 1, 2, 3, 5, 7, etc. (*loi de L.-A. Barré*).

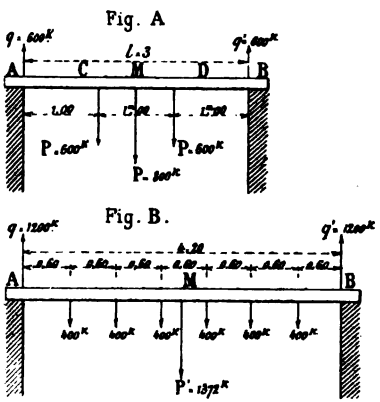


Fig. 57 et 58.

Applications. — Premier exemple. — Soit (*fig.* 57) une solive AB de 3 mètres de longueur portant deux charges égales de 600 kilogrammes. D'après le tableau précédent, le poids central a pour valeur :

$$P' = \frac{2}{3}(P_1 + P_2) = \frac{2}{3} \times 1.200 = 8.000 \text{ kilogr.}$$

Le moment fléchissant de ce poids central serait :

$$M = \frac{P'l}{4} = \frac{800^{kg} \times 3^{m}}{4} = 600 = R\,\frac{I}{n}.$$

Pour le rectangle le module de section est :

$$\frac{I}{n} = \frac{bh^2}{6},$$

b et h étant les dimensions de la section.

Prenons :

$$b = \frac{3}{4}\,h,$$

d'où :

$$\frac{I}{n} = \frac{1}{6} \times \frac{3}{4}\,h \times h^2 = \frac{1}{8}\,h^3,$$

et en prenant le coefficient de sécurité R = 60 kilogr. par centimètre carré, ou 600.000 kilogr. par mètre carré, il vient :

$$R\,\frac{I}{n} = 600.000 \times \frac{1}{8}\,h^3 = 600,$$

d'où :

$$h = \sqrt[3]{\frac{600 \times 8}{600.000}} = 20 \text{ centimètres}$$

et

$$b = \frac{3}{4}\,h = 15 \text{ centimètres.}$$

L'équarrissage de la solive AB sera de 20 × (15 centimètres).

Au moyen du tableau (p. 233) on peut obtenir rapidement une solution de la question précédente, en observant que le poids central, 800 kilogr., calculé ci-dessus, répond à une charge uniforme double ou de 1.600 kilogr. Adoptons pour le rapport de la portée 3 mètres de la solive à sa hauteur h le nombre 15, soit :

$$\frac{l}{h} = 15, \qquad \text{d'où} \qquad h = \frac{3^{m},00}{15} = 0^{m},20.$$

Pour ce rapport 15, le tableau (p. 233) donne la charge moyenne de flexion par centimètre carré de la section transversale de la solive égale à $5^{kg},33$; d'où la section nécessaire pour porter 1.600 kilogr. est :

$$\frac{1.600}{5,33} = 300 \text{ centimètres carrés ;}$$

par suite, la base, ou dimension horizontale, du profil rectangulaire de la solive sera :

$$\frac{300}{20} = 15 \text{ centimètres.}$$

L'équarrissage sera donc : $0^m,20 \times 0^m,15 = 300$ centimètres carrés.

SECOND EXEMPLE. — *Soit (fig. 58, B) une poutre en bois de chêne de $4^m,20$ de portée, chargée de six poids égaux de 400 kilogr. chacun, divisant la portée en sept parties égales.* Pour calculer l'équarrissage de cette poutre, on cherchera dans le tableau (p. 239) la charge centrale répondant à six poids égaux; on trouve que cette charge est les 4/7 de la charge totale, soit :

$$P' = \frac{4}{7} \times 2.400 = 1.372 \text{ kilogr.},$$

ce qui répond à une charge uniforme double ou 2.744 kilogr.

Pour déterminer l'équarrissage de la solive, adoptons 16 pour le rapport de la portée de la solive à sa hauteur ; d'où la hauteur de la solive :

$$h = \frac{4^m}{16} = 0^m,27.$$

Pour ce rapport 16, le tableau (p. 233) donne avec le coefficient 60 kilogr. par centimètre carré, la charge moyenne de 5 kilogr., par centimètre carré ; d'où la section nécessaire pour porter 2.744 kilogr. est égale à :

$$\frac{2.774}{5} = 550 \text{ centimètres carrés};$$

par suite, la base ou dimension horizontale du profil de la solive est :

$$\frac{550}{27} = 20 \text{ centimètres carrés};$$

L'équarrissage est donc :

$$0^m,27 \times 0^m,20.$$

Nous donnons ci-après le tableau des répartitions des pressions d'une poutre ou d'une solive continue chargée uniformément, et placée sur des appuis équidistants, ainsi que les valeurs des moments fléchissants sur les appuis.

Poutres continues, à travées égales, chargées uniformément. — Moments fléchissants et pressions sur les appuis. L = *longueur totale de la poutre ; l = longueur d'une travée.*

NOMBRE DE TRAVÉES	RÉACTIONS SUR LES APPUIS	MOMENTS FLÉCHISSANTS EN FONCTION DE L	MOMENTS FLÉCHISSANTS EN FONCTION DE l
Une seule travée, deux appuis A et B.....	En A et B : $\frac{pL}{2}$	Au milieu : $\mu = \frac{pL^2}{8}$	Au milieu : $\mu = \frac{pl^2}{8}$
Deux travées, trois appuis A, B, C.....	En A et C : $\frac{3}{16}pL$ En B : $\frac{5}{8}pL$	$\mu_1 = \mu_3 = 0$ $\mu_2 = -\frac{pL^2}{32}$	$\mu_1 = \mu_3 = 0$ $-\frac{pl^2}{8}$
Trois travées, quatre appuis A, B, C, D...	En A et D : $\frac{4}{30}pL$ En B et C : $\frac{11}{30}pL$	$\mu_1 = \mu_4 = 0$ $\mu_2 = \mu_3 = -\frac{pL^2}{90}$	$\mu_1 = \mu_4 = 0$ $\mu_2 = \mu_3 = -\frac{pl^2}{10}$
Quatre travées, cinq appuis A, B, C, D, E.	En A et E : $\frac{11}{112}pL$ En B et D : $\frac{2}{7}pL$ En C : $\frac{13}{56}pL$	$\mu_1 = \mu_5 = 0$ $\mu_2 = \mu_4 = -\frac{3}{448}pL^2$ $\mu_3 = -\frac{2}{448}pL^2$	$\mu_1 = \mu_5 = 0$ $\mu_2 = \mu_4 = -\frac{3}{28}pl^2$ $\mu_3 = -\frac{2}{28}pl^2$
Cinq travées, six appuis A, B, C, D, E, F.	En A et F : $\frac{3}{38}pL$ En B et E : $\frac{43}{190}pL$ En C et D : $\frac{37}{190}pL$	$\mu_1 = \mu_6 = 0$ $\mu_2 = \mu_5 = -\frac{2}{950}pL^2$ $\mu_3 = \mu_4 = -\frac{3}{950}pL^2$	$\mu_1 = \mu_6 = 0$ $\mu_2 = \mu_5 = -\frac{2}{19}pl^2$ $\mu_3 = \mu_4 \quad -\frac{3}{34}pl^2$

Résistance des colonnes et des piliers métalliques. — La résistance de la fonte à la rupture par compression est sensiblement constante pour des hauteurs de pièces variant de une à cinq fois la plus petite dimension de la section transversale ; au delà, elle diminue très rapidement à mesure que ce rapport augmente. Des expériences sur dix-huit espèces de fonte ont donné une résistance moyenne de 6.320 kilogr. par centimètre carré ; mais, comme cette résistance a varié de 3.965 à 11.153 kilogr. d'une fonte à une autre, il y a donc lieu, dans la pratique, d'essayer les fontes que l'on veut employer. La résistance généralement admise dans les ouvrages français est de 10.000 kilogr., nombre qu'il paraît convenable de réduire à 7.500 kilogr.

Dans l'application de la fonte aux colonnes et aux piliers métal-

liques, on adopte pour la charge de rupture de la fonte par compression ce chiffre de 7.500 kilogr. par centimètre carré, et, pour la charge pratique, on prend le 1/6 ou le 1/7 de cette charge de rupture.

Anciennement, Hodgkinson a fait des expériences sur des colonnes et des piliers en fonte et en fer et a donné des formules relatives à ses expériences. Malheureusement, ces expériences portaient sur de faibles dimensions de supports.

M. Love a simplifié les formules d'Hodgkinson. Les formules de M. Love sont publiées dans tous les ouvrages de résistance ; mais, comme toutes les formules empiriques, elles ne permettent pas la comparaison de supports métalliques au point de vue de leur forme, et de plus elles présentent une lacune ; elles ne tiennent pas compte du mode d'assujettissement des extrémités des piliers ou colonnes. Rankine et Gordon ont donné des formules qui tiennent compte de cette circonstance importante.

D'autre part, les Américains ont fait, il y a quelques années, des expériences sur des supports métalliques présentant des proportions beaucoup plus grandes que celles des expériences d'Hodgkinson.

En outre, la théorie permet d'exprimer la plus petite force capable de produire la flexion d'un solide chargé debout.

Cette formule publiée par Bélanger, en 1858, et adoptée par E. Brune, est la suivante :

$$N = \frac{i^2 \pi^2 EI}{l^2},$$

dans laquelle :

E = *module d'élasticité ;*

I = *moment d'inertie minima ;*

i^2 = 1, 2 et 4 *suivant le mode d'assujettissement des extrémités du solide ;*

l = *longueur du solide.*

Enfin, dans ces dernières années, M. P. Planat, en partant de cette formule et discutant tous les travaux précédents, a donné la formule suivante qui permet de calculer la charge que peut porter un support vertical[1] :

$$\frac{P}{S} = \frac{E}{B + \frac{1}{i^2 \pi^2 \theta} \left(\frac{l}{h}\right)^2}, \qquad \text{(A)}$$

formule dans laquelle :

l = longueur de la colonne ou du pilier ;

[1] Voir la *Pratique de la résistance*, de M. P. Planat.

h = dimension du solide dans le sens qui présente le plus de chance à la flexion ;

B, coefficient que l'on détermine quand on connaît la charge de rupture par écrasement simple ;

θ, coefficient que l'on déduit de la valeur du moment d'inertie minima de la section du solide, savoir :

$$I = \theta S h^2, \qquad \text{d'où} \qquad \theta = \frac{I}{S h^2}.$$

Nota. — Dans les applications qui vont suivre, nous avons appliqué la formule (A), en suivant la marche indiquée, page 455 de l'*Aide-Mémoire* de J. Claudel et L.-A. Barré (10e édition).

Formule des colonnes pleines en fonte. — Les colonnes métalliques se font ordinairement en fonte. On fait plus rarement les colonnes en fer.

Les colonnes métalliques en fonte ou en fer sont pleines ou creuses.

Les colonnes creuses sont plus économiques que les colonnes pleines, c'est-à-dire qu'à poids égal leur résistance est plus grande.

Enfin les colonnes en fonte ou en fer, pleines ou creuses, sont encastrées ou non encastrées à leurs extrémités.

Si une colonne est fortement maintenue par ses extrémités ou si ses bouts sont bien dressés, on la considère comme doublement encastrée. Si les deux bouts sont arrondis, ce qui lui permet de tourner, on dit qu'elle n'est pas encastrée.

Le double encastrement augmente beaucoup la résistance de la colonne.

Si la colonne est maintenue fortement à un bout et libre et arrondie à l'autre bout, on la considère comme présentant un seul encastrement. Nous allons rappeler les formules de résistance donnant la charge pratique des colonnes suivant ces diverses circonstances.

Colonnes pleines en fonte doublement encastrées :

$$P = \frac{1.071^{kg}\ S}{1 + 0{,}00337\left(\frac{l}{D}\right)^2}. \qquad \text{(A)}$$

Colonnes pleines en fonte non encastrées. — Formule :

$$P = \frac{1071^{kg}\ S}{1 + 0{,}0135\left(\frac{l}{D}\right)^2}; \qquad \text{(B)}$$

P = *charge totale de la colonne en kilogr.* ;

S = *section de la colonne en centimètres carrés.* ;

$1.071 = \frac{7.500^{kg},0}{7}$ = *le 1/7 de la charge de rupture par centimètre carré d'un prisme court en fonte. Suivant le degré de sécurité ou les risques de la construction, on prend pour coefficient de sécurité le 1/7 ou le 1/6 de la charge de rupture;*

$\frac{l}{D}$ = *rapport de la longueur de la colonne à son diamètre.*

Le bénéfice de l'encastrement d'une colonne peut s'énoncer ainsi :

Pour deux colonnes également chargées et de même diamètre, la hauteur d'une colonne encastrée est double de la colonne non encastrée. Cette loi, déduite des formules (A) et (B), confirme une observation faite par Hodgkinson.

Si la colonne présente un seul encastrement (comme il a été expliqué ci-dessus), et si on la compare à une colonne de même diamètre, non encastrée, et portant la même charge, le calcul apprend que la hauteur de la colonne présentant un seul encastrement est égale à la hauteur de la colonne non encastrée multipliée par $\sqrt{2} = 1,414$.

Dans les tableaux suivants, sur chaque ligne horizontale, chacun des nombres des deux premières colonnes répond à chacun des nombres des colonnes 3 et 4.

Exemple. — Une colonne pleine en fonte non encastrée présentant 5 pour le rapport de sa hauteur à son diamètre donne les charges suivantes par centimètre carré :

800 kilogr. (avec le coefficient 1/7), et 933 kilogr. (avec le coefficient 1/6).

Si la colonne est doublement encastrée, pour les mêmes charges, la hauteur a doublé ainsi que le rapport de sa longueur à son diamètre. Ce rapport double 10 est inscrit dans la deuxième colonne du tableau à côté du premier rapport 5.

Nous donnons ci-après un tableau qui fait connaître la charge par centimètre carré d'une colonne pleine pour une hauteur et un diamètre donnés. En multipliant cette charge par la section de la colonne, exprimée en centimètres carrés, on obtiendra la charge totale que peut porter la colonne.

Charges des colonnes pleines en fonte par centimètre carré. — $\frac{l}{D}$ = *Rapport de la longueur de la colonne à son diamètre.* — *Coefficient de sécurité, 1/7 et 1/6 de la charge de rupture, 7.500 kilogr. par centimètre carré d'un prisme court en fonte.*

COLONNES NON ENCASTRÉES Rapport $\frac{l}{D}$	COLONNES ENCASTRÉES Rapport $\frac{l}{D}$	CHARGES PAR CENTIMÈTRE CARRÉ Coefficient $\frac{1}{7}$	CHARGES PAR CENTIMÈTRE CARRÉ Coefficient $\frac{1}{6}$
		kilogr.	kilogr.
5	10	800	933
5,5	11	760	886
6	12	721	841
6,5	13	683	796
7	14	646	753
7,5	15	610	711
8	16	575	670
8,5	17	542	632
9	18	511	596
9,5	19	482	559
10	20	454	529
10,5	21	430	501
11	22	407	475
11,5	23	384	448
12	24	363	423
12,5	25	344	401
13	26	326	380
13,5	27	309	360
14	28	294	343
14,5	29	279	325
15	20	265	309
15,5	31	252	294
16	32	240	280
16,5	33	229	267
17	34	218	254
17,5	35	208	242
18	36	199	232
18,5	37	190	221
19	38	182	212
19,5	39	174	203
20	40	167	195
20,5	41	160	187
21	42	154	179
21,5	43	148	172
22	44	142	165
22,5	45	136	159
23	46	131	153
23,5	47	126	147
24	48	122	142
24,5	49	117	137
25	50	113	132
26	52	105	123
27	54	99	115
28	56	92	108
29	58	86	100
30	60	81	94

APPLICATIONS. — *La hauteur d'une colonne en fonte est de 4 mètres et son diamètre* $0^m,12$; *calculer la charge qu'elle peut porter.*

SOLUTION. — Prenons le rapport 4 mètres à $0^m,12$, soit 33 1/3. Pour ce rapport le tableau donne avec le coefficient 1/7 la charge de 220 kilogr. environ (avec deux encastrements). D'autre part, la section d'un cercle de $0^m,12$ est de 113 centimètres carrés ; d'où la charge de la colonne est :

$$P = 210 \times 113 = 24.860 \text{ kilogr.}$$

Colonnes creuses en fonte. — Les colonnes creuses en fonte sont plus économiques que les colonnes pleines, c'est-à-dire qu'à poids égal leur résistance est plus grande. Leur épaisseur doit cependant satisfaire à des conditions de fabrication.

Ainsi, d'après E. Brune, pour des hauteurs de colonnes en fonte 2 à 3 mètres; 3 à 4 mètres ; 4 à 6 mètres; 6 à 8 mètres; 8 à 18 mètres, au-delà les épaisseurs sont en moyenne :

$$e = 12,\ 16,\ 20,\ 25,\ 30,\ 35 \text{ millimètres.}$$

Certaines fonderies belges appliquent la règle suivante : *La section pleine ne doit guère s'écarter du cinquième de la section totale, plein et vide compris.* Cette règle donne $e = 0,105r$ (r = rayon extérieur). Cette règle nous a engagé à calculer nos tableaux avec l'épaisseur $e = 1/10$ du rayon extérieur.

FORMULES. — *Colonne creuse en fonte doublement encastrée :*

$$P = \frac{1.071^{kg}\,S}{1 + 0,00205\left(\frac{l}{D}\right)^2}$$

Colonne creuse en fonte non encastrée :

$$P = \frac{1.071^{kg}\,S}{1 + 0,0082\left(\frac{l}{D}\right)^2}$$

Dans ces formules :

S *est la section de la colonne creuse en centimètres carrés.*

$\frac{l}{D}$ = *rapport de la longueur de la colonne à son diamètre extérieur.*

1.071 kilogr. est le 1/7 de la charge de rupture, laquelle est 7.500 kilogr. par centimètre carré d'un prisme court en fonte soumis à la compression. Suivant le degré de sécurité et suivant les risques de la construction, on prend le coefficient de sécurité égal au 1/7 ou au 1/6 de 7.500.

Dans le tableau ci-après, qui donne la charge d'une colonne creuse par centimètre carré, les calculs ont été faits pour une épaisseur de colonne égale au 1/10 du diamètre extérieur. Pour des colonnes plus minces la charge par centimètre carré est un peu plus grande. Théoriquement, il y a donc économie à employer des colonnes minces.

Charges par centimètre carré des colonnes creuses en fonte. — *Coefficients de sécurité 1/7 et 1/6 de la charge de rupture 7.500 kilogr. par centimètre carré d'un prisme court en fonte.*

COLONNES CREUSES non encastrées Rapport $\frac{l}{D}$	COLONNES CREUSES encastrées Rapport $\frac{l}{D}$	CHARGES PAR CENTIMÈTRE CARRÉ	
		Coefficient $\frac{1}{7}$	Coefficient $\frac{1}{6}$
		kilogr.	kilogr.
5	10	888	1.036
5,5	11	858	1.001
6	12	827	964
6,5	13	795	927
7	14	763	890
7,5	15	733	855
8	16	702	819
8,5	17	672	784
9	18	643	750
9,5	19	615	717
10	20	698	697
10,5	21	562	655
11	22	537	626
11,5	23	514	603
12	24	491	573
12,5	25	469	546
13	26	448	522
13,5	27	429	500
14	28	410	478
14,5	29	393	458
15	30	376	438
15,5	31	360	420
16	32	345	402
16,5	33	331	386
17	34	318	371
17,5	35	305	356
18	36	293	341
18,5	37	282	329
19	38	270	315
19,5	39	259	302
20	40	250	291
20,5	41	241	280
21	42	232	270
21,5	43	223	260
22	44	215	250
22,5	45	208	242
23	46	201	233
23,5	47	193	226
24	48	187	218
24,5	49	181	211
25	50	174	204
25,5	51	169	197
26	52	163	190
27	54	153	178
28	56	144	168
29	58	135	157
30	60	127	148

Approximativement, on pourra appliquer le tableau à toutes les épaisseurs et pour toutes les colonnes creuses, en tenant compte de la section réelle et en prenant les charges par centimètre carré, données par le tableau p. 248.

Applications du tableau précédent. — PREMIER PROBLÈME. — *Données :*

Hauteur de la colonne creuse en fonte doublement encastrée, 5 mètres ;

Diamètre extérieur, $0^m,20$;

Diamètre intérieur, $0^m,16$;

Epaisseur, 1/10 de $0^m,20 = 0^m,02$;

Rapport, $5^m : 0^m,20 = 25$. *Pour ce rapport la charge par centimètre carré* est (tableau, p. 248) de 469 kilogr. avec le coefficient maximum 1/7.

Section de la colonne creuse, $\frac{\pi}{4}(D^2 - D'^2)$, ou $S = 59^{cm2},69$.

La charge de la colonne creuse encastrée est :

$$P = 469 \times 59,69 = 28.000 \text{ kilogr. environ.}$$

DEUXIÈME PROBLÈME. — *Données :*

Hauteur de la colonne creuse en fonte, $4^m,50$;

Diamètre extérieur, $0^m,25$;

Diamètre intérieur, $0^m,21$;

Épaisseur de la colonne creuse, $0^m,02$;

Rapport, $4^m,50 : 0^m,25 = 18$.

Pour ce rapport, la charge par centimètre carré est de 643 kilogr.

Section de la colonne, $\frac{\pi}{4} 4 (D^2 - D'^2) = 44^{cm2},51$.

La charge de la colonne creuse encastrée est :

$$P = 44,51 \times 643 - 28,600 \text{ kilogr.}$$

Piliers pleins en fonte à base carrée. — Nous donnons ci-après une formule donnant la charge d'un pilier en fonte de section carrée ou rectangulaire, encastré aux deux bouts :

$$P = \frac{1.071^{kg}\, S}{1 + 0,00253 \left(\frac{l}{c}\right)^2}.$$

Pour le pilier non encastré, la formule serait :

$$P = \frac{1.071^{kg}\, S}{1 + 0,0101 \left(\frac{l}{c}\right)^2},$$

P = *charge en kilogr. ;*

S = *section en centimètres carrés ;*

$\frac{l}{c}$ = *rapport de la hauteur du poteau au plus petit côté de sa section rectangulaire.*

En appliquant cette formule aux piliers carrés, et celle de la page 246, aux colonnes cylindriques pleines, on reconnaît que ces deux sortes de supports donnent à très peu près les mêmes charges, pour des hauteurs égales de supports et des sections équivalentes.

Cependant l'avantage reste aux piliers carrés pour des valeurs un peu grandes du rapport $\left(\frac{l}{c}\right)$ de la longueur du pilier à son côté.

Piliers en fonte de forme à double T symétrique, à simple T cruciforme et cornière. — Formule approximative *pour les piliers encastrés des deux bouts :*

$$P = \frac{1.071^{kg}\ S}{1 + 0{,}005\left(\frac{l}{h}\right)^2},$$

l = *longueur du pilier ;*
h = *longueur de l'aile du* **T** *et côté de la cornière ;*
1.071 = 7.509 ;
P = *charge en kilogr. ;*
S = *section du pilier en centimètres carrés.*

Résistance des colonnes cylindriques pleines en fer. — Formules. — *Colonnes pleines en fer doublement encastrées :*

$$P = \frac{600^{kg}\ S}{1 + 0{,}00073\left(\frac{l}{D}\right)^2}.$$

Colonnes cylindriques pleines en fer non encastrées :

$$P = \frac{600^{kg}}{1 + 0{,}00292\left(\frac{l}{D}\right)^2}.$$

Dans ces formules :
P = *charge en kilogr. ;*
$\frac{l}{D}$ = *rapport de la longueur de la colonne à son diamètre ;*
600^{kg} = 1/6 *de la charge de rupture* 3.600 *kilogr. par centimètre carré d'un prisme court en fer.*

Nous donnons ci-après le tableau des charges pratiques par centimètre carré des colonnes pleines en fer pour divers rapports de la longueur des colonnes à leurs diamètres.

La charge totale d'une colonne s'obtiendra en multipliant la charge par centimètre carré, donnée au tableau, par la section transversale de la colonne, exprimée en centimètres carrés.

COLONNES PLEINES EN FER. — **Charges par centimètre carré**

COLONNES NON ENCASTRÉES Rapport $\frac{l}{D}$	COLONNES ENCASTRÉES Rapport $\frac{l}{D}$	CHARGES PAR CENTIMÈTRE CARRÉ COEFFICIENT $\frac{1}{7}$	COEFFICIENT $\frac{1}{6}$
		kilogr.	kilogr.
5	10	475	554
5,5	11	469	547
6	12	463	540
6,5	13	456	532
7	14	449	524
7,5	15	441	515
8	16	433	506
8,5	17	424	495
9	18	414	485
9,5	19	407	475
10	20	398	465
10,5	21	389	454
11	22	379	443
11,5	23	371	433
12	24	362	422
12,5	25	354	413
13	26	345	402
13,5	27	336	392
14	28	327	382
14,5	29	319	372
15	30	310	362
15,5	31	302	353
16	32	294	343
16,5	33	286	334
17	34	278	324
17,5	35	271	316
18	36	264	308
18,5	37	257	300
19	38	250	292
19,5	39	243	284
20	40	237	276
20,5	41	231	269
21	42	224	262
21,5	43	218	255
22	44	213	248
22,5	45	207	242
23	46	202	235
23,5	47	197	230
24	48	191	224
24,5	49	187	218
25	50	182	212
26	52	173	201
27	54	164	191
28	56	156	182
29	58	148	173
30	60	141	165

Piliers pleins en fer à base carrée ou rectangulaire. — Formule *pour le double encastrement :*

$$P = \frac{600^{kg}\ S}{1 + 0{,}000547 \left(\frac{l}{c}\right)},$$

dans laquelle :

P = *charge en kilogr. ;*

S = *section du pilier en centimètres carrés ;*

$\frac{l}{c}$ = *rapport de la hauteur du pilier à son plus petit côté c.*

En appliquant cette formule pour les piliers carrés pleins en fer, et la formule (p. 251) pour les colonnes pleines en fer, on reconnaît que ces deux sortes de supports donnent des résultats peu différents pour des hauteurs égales de supports et des sections équivalentes. Cependant l'avantage reste aux piliers carrés pour des valeurs un peu grandes du rapport $\left(\frac{l}{c}\right)$ de la longueur du pilier à son côté.

Colonnes creuses en fer. — Formules. — *Colonnes doublement encastrées :*

$$P = \frac{600^{kg}\ S}{1 + 0{,}000445 \left(\frac{l}{D}\right)^2}.$$

Colonnes non encastrées :

$$P = \frac{600^{kg}\ S}{1 + 0{,}00178 \left(\frac{l}{D}\right)^2}.$$

S = *section annulaire de la colonne ;*

D = *rapport de la hauteur de la colonne à son diamètre extérieur.*

Dans les tableaux ci-après l'épaisseur a été prise égale au 1/10 du diamètre extérieur. Pour des épaisseurs moindres la charge par centimètre carré est un peu plus grande. Approximativement, on pourra appliquer les tableaux ci-après à une épaisseur quelconque.

Il en résultera que, pour une épaisseur moindre que le 1/10 du diamètre extérieur, la résistance sera donnée par défaut et que, pour une épaisseur plus grande, la résistance sera donnée par excès. En multipliant la charge donnée au tableau par la section réelle de la colonne creuse, exprimée en centimètres carrés, on obtiendra la charge totale de la colonne creuse.

Charges par centimètre carré des colonnes creuses en fer

COLONNES CREUSES non encastrées Rapport $\frac{l}{D}$	COLONNES CREUSES encastrées Rapport $\frac{l}{D}$	CHARGES PAR CENTIMÈTRE CARRÉ	
		COEFFICIENT $\frac{1}{7}$	COEFFICIENT $\frac{1}{6}$
		kilogr.	kilogr.
5	10	492	574
5,5	11	488	569
6	12	483	564
6,5	13	478	558
7	14	474	552
7,5	15	467	545
8	16	461	538
8,5	17	456	532
9	18	449	524
9,5	19	443	517
10	20	436	508
10,5	21	429	500
11	22	423	492
11,5	23	416	484
12	24	409	476
12,5	25	402	468
13	26	395	461
13,5	27	388	453
14	28	381	444
14,5	29	374	436
15	30	367	428
15,5	31	360	420
16	32	353	412
16,5	33	346	404
17	34	339	396
17,5	35	332	388
18	36	326	380
18,5	37	319	372
19	38	313	366
19,5	39	306	358
20	40	300	351
20,5	41	294	343
21	42	288	336
21,5	43	282	329
22	44	276	322
22,5	45	270	315
23	46	265	309
23,5	47	259	302
24	48	254	297
24,5	49	248	290
25	50	242	282
26	52	234	274
27	54	225	260
28	56	215	250
29	58	206	240
30	60	197	230

Applications. — PREMIER PROBLÈME. — *Données :*
Hauteur de la colonne creuse en fer, 5 *mètres ;*
Diamètre extérieur, $0^m,20$;

Diamètre intérieur, $0^m,16$;
Épaisseur, 1/10 *de* $0^m,20 = 0^m,02$;

Rapport, $\frac{5^m}{0^m,20} = 25$. *Pour ce rapport, la charge par centimètre carré est* (tableau, p. 253) *de* 402 *kilogr. avec le coefficient minimum* 1/7;

Section de la colonne, $\frac{\pi}{4}(D^2 - D'^2) = 314^{cm2},16 - 254,47$.

Ou $S = 59^{cm3},69$, soit 60 centimètres carrés.
La charge de la colonne creuse en fer encastrée est:

$$P = 402^{kg} \times 60 = 24.000 \text{ kilogr. environ.}$$

Deuxième problème. — *Données :*
Hauteur de la colonne creuse en fer, $4^m,50$;
Diamètre extérieur, $0^m,25$;
Diamètre intérieur, $0^m,21$;
Épaisseur de la colonne, $0^m,02$;
Rapport, $4^m,50 : 0^m,25 = 18,5$.
Pour ce rapport la charge par centimètre carré est de 446 kilogr. (avec le coefficient 1/7).

Section de la colonne, $\frac{\pi}{4}(D^2 - D'^2) = 44$ centimètres carrés.

La charge de la colonne creuse encastrée est:

$$P = 44,51 \times 4.496^{kg} = 19.840 \text{ kilogr.}$$

Piliers en fer laminé en forme de double T symétrique, à simple T ou cruciforme. — Formule approximative *pour les piliers encastrés des deux bouts :*

$$P = \frac{357^{kg}\ S}{1 + 0,0008\left(\frac{l}{h}\right)^2};$$

l, longueur du pilier;
h, longueur de l'aile du **T**;

$$357^{kg} = \frac{2.500^{kg}}{7};$$

P, *charge en kilogr.;*
S, *section du pilier en centimètres carrés.*
Formule pour les piliers non encastrés :

$$P = \frac{357^{kg}\ S}{1 + 0,0032\left(\frac{l}{h}\right)^2}.$$

Fers à double T pour planchers. — Nous rappelons la formule générale donnant la charge totale et uniforme d'une solive repo-

sant librement par ses extrémités sur deux appuis. Le moment fléchissant maximum au milieu de la portée a pour expression :

$$M = \frac{pl^2}{8} = R\left(\frac{I}{n}\right). \qquad (1)$$

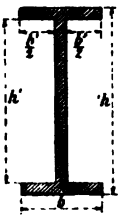


Fig. 59.

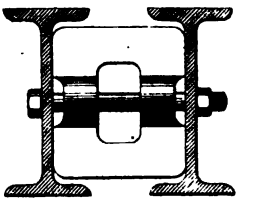


Fig. 60.

On en déduit la charge uniforme :

$$pl = \frac{8R}{l}\left(\frac{I}{n}\right);$$

M = *moment fléchissant maximum;*

pl = *charge totale et uniforme de la solive, à raison d'une charge p par mètre;*

R = *coefficient de sécurité que l'on prend égal* à 6, 8 *et* 10 *kilogr. par millimètre carré;*

$\frac{I}{n}$ = *module de section du profil transversal de la solive en fer laminé, à double* **T**.

Pour un profil symétrique à double **T**, on a pour le module de section (voir p. 201) :

$$\frac{I}{n} = \frac{bh^3 - b'h'^3}{6h}. \qquad (2)$$

En appliquant la formule (2) à des fers à double **T**, *petites ailes*, de diverses usines, on reconnaît que, malgré la diversité que présentent les fers laminés (largeur des fers et épaisseur de leurs nervures), leur résistance dépend principalement de deux éléments : la hauteur du fer et son poids par mètre. De sorte que, pratiquement, deux fers de même hauteur et de même poids sont à peu près équivalents au point de vue de la résistance.

En partant de cette *constatation approximative*, il est possible d'établir une formule approchée exprimant une relation entre la charge totale et uniforme d'une solive métallique à double **T** (*petites ailes*), son poids par mètre et le rapport de la hauteur à la portée de la solive.

Le calcul apprend que le moment d'inertie du profil peut se mettre approximativement sous la forme :

$$I = kSh^2, \qquad (3)$$

S étant la section du fer, h sa hauteur, et k un coefficient dont la valeur varie dans des limites assez rapprochées [1]. La moyenne du coefficient k est la suivante :

$$K = 0{,}150.$$

On a donc approximativement :

$$I = 0{,}303h^2,$$

et à cause de la symétrie :

$$\frac{I}{n} = 0{,}303h, \qquad (4)$$

D'autre part, le poids F par mètre du fer à double **T** a pour expression :

$$F = S \times 1^m \times 7.800^k, \qquad (5)$$

7.800 kilogr. étant le poids d'un mètre cube de fer.

De (5) on déduit :

$$S = \frac{F}{7800};$$

par suite, l'expression du module de section (4) devient :

$$\frac{I}{n} = 0{,}30\,\frac{7800}{F}\,h,$$

ou

$$\frac{I}{n} = 0{,}0000384Fh. \qquad (6)$$

En rapportant R au millimètre carré, ce qui revient à multiplier (6) par 1.000.000, il vient :

$$R\,\frac{I}{n}\ 38{,}4RFh.$$

La relation (1) donne :

$$\frac{pl'}{8} = R\,\frac{I}{n} = 38{,}4RFh,$$

d'où :

$$pl = \frac{38{,}4 \times 8RFh}{l};$$

et

$$\frac{pl}{F} = 308R\left(\frac{h}{l}\right). \qquad (7)$$

Dans les applications de cette formule on fera R = 6, 8 ou 10 kilogr. par millimètre carré, et les poids pl et F seront exprimés en kilogr.

Telle est la relation approchée qui lie la charge totale et uniforme pl de la solive en fer à double **T** (*petites ailes*) à son poids F

[1] Voir la *Pratique de la résistance des matériaux* de M. P. Planat, pour la vérification de la formule approximative ci-dessus.

par mètre et au rapport de la hauteur de la solive à sa portée l.

La relation (7) montre que la charge pl est proportionnelle au poids F de la solive par mètre, à la hauteur verticale h de la solive, et inversement proportionnelle à sa portée l.

En adoptant une valeur pour le rapport $(h : l)$, on déduit de (7) le rapport $(pl : \mathrm{F})$ de la charge totale pl au poids de la solive par mètre; d'où, la charge étant donnée, on déduit le poids F de la solive.

Nous donnons ci-après un tableau des valeurs du rapport $(pl : \mathrm{F})$ pour une série de rapports $(l : h)$ de la longueur de la solive à sa hauteur.

Ces résultats sont calculés avec les trois coefficients R = 6, 8 et 10 kilogr. par millimètre carré.

Ce tableau permettra de résoudre rapidement les questions de résistance se rapportant aux planchers métalliques construits avec des fers à double **T**, *petites ailes*.

Fers à planchers à double T (*petites ailes*). — FORMULE :

$$\frac{pl}{\mathrm{F}} = 308\mathrm{R}\left(\frac{h}{l}\right).$$

h = *hauteur du fer;*
l = *portée de la solive;*
R = 6, 8 *et* 10 *kilogr. par millimètre carré;*
F = *poids du fer par mètre;*
pl = *charge totale et uniforme de la solive;*
$\frac{l}{h}$ = *rapport de la portée de la solive à sa hauteur, et* $\left(\frac{h}{l}\right)$ *rapport inverse du précédent.*

RAPPORT $\left(\frac{l}{h}\right)$ de la portée à la hauteur de la solive	VALEURS DE $\frac{pl}{\mathrm{F}}$ CALCULÉES AVEC LES COEFFICIENTS		
	6 kilogr. par millimètre carré	8 kilogr. par millimètre carré	10 kilogr. par millimètre carré
5	369	493	616
5,5	336	448	560
6	308	410	513
6,5	284	379	473
7	264	352	440
7,5	246	328	410
8	231	308	385
8,5	217	290	362
9	205	273	340
9,5	194	259	324
10	185	246	308
10,5	176	234	293
11	168	224	280
11,5	160	214	268
12	154	205	256
12,5	148	197	246
13	142	189	237

RAPPORT $\left(\frac{l}{h}\right)$ de la portée à la hauteur de la solive	VALEURS DE $\frac{pl}{F}$ CALCULÉES AVEC LES COEFFICIENTS		
	6 kilogr. par millimètre carré	8 kilogr. par millimètre carré	10 kilogr. par millimètre carré
13,5	137	183	228
14	132	176	220
14,5	127	170	212
15	123	164	205
15,5	119	159	198
16	115	154	192
16,5	112	149	186
17	108	145	181
17,5	105	141	176
18	102	137	171
18,5	100	133	166
19	97,2	129	162
19,5	94,8	126	158
20	92,4	123	154
20,5	90,1	120	150
21	87,9	117	146
21,5	85,8	114	143
22	84,0	112	140
22,5	82,0	109	137
23	80,4	107	134
23,5	78,6	104	131
24	76,9	102	128
24,5	75,4	100	125
25	73,9	98,5	123
25,5	72,4	96,3	120
26	71,0	95,7	118
26,5	69,7	92,9	116
27	68,4	91,2	114
27,5	67,2	89,6	112
28	66,0	88,0	110
28,5	64,8	86,4	108
29	63,7	84,9	106
29,5	62,6	83,5	104
30	61,5	82,0	102
30,5	60,5	80,9	101
31	59,6	79,5	99,3
31,5	58,6	78,2	97,7
32	57,7	76,9	96,2
32,5	56,8	75,7	94,7
33	56,0	74,6	93,3
33,5	55,0	73,3	91,9
34	54,3	72,4	90,6
34,5	53,5	71,4	89,2
35	52,8	70,4	88,0
35,5	52,0	69,4	86,7
36	51,3	68,4	85,5
36,5	50,6	67,5	84,4
37	49,9	66,6	83,8
37,5	49,2	65,6	82,1
38	48,6	64,8	81,0
38,5	48,0	64,0	80,0
39	47,4	63,1	78,9
39,5	46,8	62,3	77,9
40	46,2	61,6	77,0

Remarque sur le tableau précédent. — Dans la formule (p. 257), qui a servi à calculer le tableau précédent, F désigne essentiellement le poids d'un fer à double **T** à petites ailes. S'il s'agissait d'un fer renforcé ou à très larges ailes, la formule rappelée donnerait une faible approximation. Pour ce cas, si l'on calculait F par la même formule, il faudrait majorer le résultat souvent de 10 à 15 0/0, et si l'on calculait la charge totale *pl* au moyen de la même formule, le résultat serait en excès sur la charge réelle déduite de la formule exacte :

$$\frac{pl^2}{8} = R\frac{I}{n},$$

qu'il faudrait appliquer pour le profil renforcé.

Applications du tableau précédent et de la formule :

$$\frac{pl}{F} = 308R\left(\frac{h}{l}\right). \qquad (A)$$

Premier exemple. — *Calculer le poids approximatif d'une solive en fer à double* **T** *(petites ailes) portant la charge uniforme de* 4.800 *kilogr. sur une portée de* 8 *mètres, la hauteur de la poutre étant de* $0^m,30$, *et le coefficient de sécurité étant de* 8 *kilogr. par millimètre carré ?*

Solution *par le calcul.* — Le rapport $\frac{h}{l} = \frac{0^m,30}{8^m} = 0,037$; la formule (A) donne :

$$\frac{pl}{F} = 92,4,$$

d'où :

$$F = \frac{pl}{92,4} = \frac{4.800^k}{92,4} = 52 \text{ kilogr.}$$

Solution *par le tableau de la page* 258. — Le rapport :

$$\frac{l}{h} = \frac{8^m}{0,20} = 26,6.$$

Pour ce rapport le tableau donne (avec le coefficient 8 kilogr. par millimètre carré) la valeur approximative :

$$\frac{pl}{F} = 93,$$

d'où le poids du fer à double **T** :

$$F = \frac{pl}{93} = \frac{4.800}{93} = 51^{kg},6,$$

soit :

$$F = 52 \text{ kilogr. par mètre.}$$

Second exemple. — *Calculer la charge uniforme d'une solive de* 5 *mètres de portée et de* $0^m,25$ *de hauteur, le coefficient de sécurité*

étant R = 6 *kilogr. par millimètre carré, et le poids par mètre,* 38 *kilogr.*

SOLUTION. — Le rapport de la portée à la hauteur de la solive est :

$$\frac{l}{h} = \frac{5^m,00}{0^m,25} = 20.$$

Pour ce rapport le tableau de la page 258 donne (avec le coefficient de sécurité 6 kilogr. par millimètre carré) le rapport :

$$\frac{pl}{F} = 92,$$

d'où la charge uniforme a pour valeur :

$$pl = 92F = 92 \times 38 = 3.496 \text{ kilogr.},$$

soit :

$$pl = 3.500 \text{ kilogr.}$$

TROISIÈME EXEMPLE. — *Quelle doit être la hauteur d'une solive en fer à double* **T**, *de* 5 *mètres de portée pesant* 38 *kilogr. le mètre, laquelle doit recevoir une charge uniforme de* 3.500 *kilogr., le coefficient de travail étant de* 6 *kilogr. par millimètre carré?*

SOLUTION *par le calcul.* — Le rapport de la charge totale au poids de la solive par mètre est :

$$\frac{pl}{F} = \frac{3.500}{38} = 92,1.$$

Pour ce rapport la formule (A) (p. 259) donne avec le coefficient 6 kilogr. par millimètre carré :

$$\frac{pl}{F} = 92,1 = 308 \times 6 \times \left(\frac{h}{l}\right),$$

d'où la hauteur de la solive ou du fer :

$$h = \frac{92l}{308 \times 6} = 0^m,25 \text{ environ.}$$

SOLUTION *par le tableau de la page* 258. — Prenons le rapport :

$$\frac{pl}{F} = \frac{3.500^{kg}}{38^{kg}} = 92,1.$$

Cherchons dans la deuxième colonne (6 *kilogr. par millimètre carré*) le nombre qui approche le plus de 92,1, c'est 92,4. En regard, à gauche, on lit le rapport :

$$20 = \frac{l}{h} = \frac{5^m}{h},$$

d'où :

$$h = \frac{5}{20} = 0^m,25$$

pour la hauteur cherchée du fer à double **T**, à petites ailes.

Poutre métallique sans tables constituée par une âme en tôle et quatre cornières. — Pour de grandes portées ou pour de grandes charges, les fers laminés à double T ne présentent pas une résistance suffisante. On est ainsi conduit à faire diverses combinaisons avec des tôles et des cornières. Nous donnerons ici le type le plus simple (*fig.* 61).

Ce type de poutre se rapprochant des fers à double T, il en résulte que les formules de ces deux types diffèrent très peu entre elles.

On trouve par le calcul, pour la moyenne de plusieurs profils de ce type de poutre, la valeur suivante du moment d'inertie :

$$I = 0{,}16Sh^2 \qquad (1)$$

et

$$\frac{I}{n} = 0{,}32Sh. \qquad (2)$$

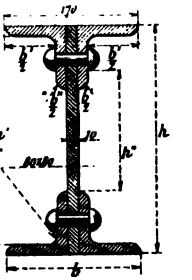


Fig. 61.

Or le poids F par mètre de la poutre a pour expression (7.800 kilogr. étant le poids d'un mètre cube de fer) :

$$F = S \times 1^m \times 7.800^{kg},$$

d'où :

$$S = \frac{F}{7.800}.$$

La relation (2) devient :

$$\frac{I}{n} = \frac{0{,}32}{7.800} Fh = 0{,}000041Fh$$

D'autre part, on a la formule :

$$\frac{pl^2}{8} = R\left(\frac{I}{n}\right) = R0{,}0000410Fh,$$

d'où :

$$\frac{pl}{F} = 8 \times 0{,}0000410R\left(\frac{h}{l}\right),$$

ou :

$$\frac{pl}{F} = 328R\left(\frac{h}{l}\right). \qquad (3)$$

Pour le fer à double T on a trouvé :

$$\frac{pl}{F} = 308R\left(\frac{h}{l}\right). \qquad (4)$$

En comparant (3) et (4), on voit que la poutre en tôle, sans tables, constituée par une âme et quatre cornières (type analogue au fer double T) présente une économie sur le fer double T dans le rapport 1,065 à l'unité. L'augmentation de la résistance à poids égal est de 1/15 environ. Cette augmentation est due à ce que,

dans la poutre en tôle, l'âme ou paroi verticale utilise plus économiquement la matière que dans les fers à double **T** laminés dans lesquels l'âme est trop forte théoriquement, mais dont l'épaisseur est nécessaire pour maintenir la rigidité de la solive.

Nous donnons ci-après un tableau qui fait connaître les valeurs du rapport de la charge totale au poids par mètre d'une poutre en tôle sans tables, comprenant une âme et quatre cornières, ces valeurs répondant à une série de rapports de la longueur de la poutre à sa hauteur.

Tableau des poutres métalliques sans tables, constituées avec une âme et quatre cornières

RAPPORT $\left(\frac{l}{h}\right)$ de la longueur de la POUTRE à sa hauteur	VALEURS DU RAPPORT $\frac{pl}{F}$ CALCULÉES AVEC LES COEFFICIENTS			RAPPORT $\left(\frac{l}{h}\right)$ de la longueur de la POUTRE à sa hauteur	VALEURS DU RAPPORT $\frac{pl}{F}$ CALCULÉES AVEC LES COEFFICIENTS		
	6 kilogr. par millimètre carré	8 kilogr. par millimètre carré	10 kilogr. par millimètre carré		6 kilogr. par millimètre carré	8 kilogr. par millimètre carré	10 kilogr. par millimètre carré
8	246	328	410	24,5	80,0	106	133
8,5	231	309	386	25	78,7	105	131
9	217	290	362	25,5	76,8	102	128
9,5	207	276	345	26	75,8	100	125
10	197	262	328	26,5	74,2	98,8	123
10,5	187	250	312	27	72,9	97,2	121
11	179	238	298	27,5	71,6	95,5	119
11,5	171	228	285	28	70,3	93,8	117
12	163	218	273	28,5	69,1	92,1	115
12,5	157	210	262	29	67,8	90,4	113
13	151	202	252	29,5	66,5	88,7	110
13,5	145	194	243	30	65,2	87,0	108
14	140	187	234	30,5	64,6	86,1	107
14,5	135	180	226	31	63,5	84,7	106
15	131	174	218	31,5	62,5	83,3	104
15,5	126	168	211	32	61,5	82,0	102
16	122	163	204	32,5	60,6	80,8	101
16,5	119	158	198	33	59,7	79,6	99,5
17	115	154	193	33,5	58,8	78,4	98,0
17,5	112	150	187	34	57,9	77,3	96,6
18	109	145	182	34,5	57,0	76,1	95,1
18,5	106	141	177	35	56,2	75,0	93,8
19	103	138	172	35,5	55,4	73,9	92,4
19,5	101	134	168	36	54,7	72,9	91,2
20	98,5	131	164	36,5	54,0	72,0	90,0
20,5	96,0	128	160	37	53,6	71,5	89,3
21	93,4	124	155	37,5	52,5	70,0	87,5
21,5	91,5	122	152	38	51,8	69,1	86,4
22	89,5	119	149	38,5	51,1	68,2	85,3
22,5	87,6	116	146	39	50,4	67,2	84,0
23	85,7	114	142	39,5	49,8	66,4	83,0
23,5	83,8	111	139	40	49,2	65,5	82,0
24	81,9	109	136				

FORMULE : $$\frac{pl}{F} = 328R\left(\frac{h}{l}\right); \qquad (A)$$

pl = *charge totale et uniforme en kilogr.* ;
F = *poids de la poutre par mètre en kilogr.* ;
h = *hauteur de la poutre en mètres;*
l = *portée de la poutre en mètres;*
R = 6, 8, *et* 10 *kilogr. par millimètre carré.*

Applications du tableau précédent. — PREMIER EXEMPLE. — *Calculer la résistance d'une poutre en tôle sans tables, de* $0^m,30$ *de hauteur et de* 5 *mètres de portée, constituée par une âme verticale de* $0^m,30 \times 0^m,008$ *et de quatre cornières de* $\frac{60 \times 60}{8}$ *millimètres, pesant chacune* 7 *kilogrammes le mètre. On impose le coefficient de sécurité* 6 *kilogr. par millimètre carré.*

SOLUTION. — Le poids de l'âme par mètre est :

$0^m,39 \times 0^m,008 \times 1^m \times 7.800^{kg} = 18^{kg},7$
4 cornières à 7^{kg} l'une, soit 28

Poids de la poutre $= 46^{kg},7 = F$

La formule (A) :

$$\frac{pl}{F} = 328\ R\left(\frac{h}{l}\right)$$

donne avec $F = 46^{kg},7$, $l = 5$ mètres, et $h = 0^m,30$, la charge ci-après :

$$pl = 46,7 \times 328 \times 6 \times \frac{0^m,30}{5^m} = 5.500 \text{ kilogr.}$$

SOLUTION *par le tableau de la page* 262. — Prenons le rapport :

$$\frac{h}{l} = \frac{5^m}{0,30} = 16,6,$$

et cherchons dans la colonne désignée $\left(\frac{l}{h}\right)$ la valeur la plus approchée de ce rapport ; c'est 16,5 qui répond au nombre 119, écrit à droite dans la deuxième colonne (*coefficient* 6 *kilogr. par millimètre carré*), c'est-à-dire qu'on a :

$$\frac{pl}{F} = 119,$$

d'où :

$$pl = F \times 119 = 46^{kg},7 \times 119,$$

ou

$$pl = 5.500 \text{ kilogr. environ.}$$

SECOND EXEMPLE. — *Calculer le poids d'une poutre métallique de* $0^m,30$ *de hauteur et d'une portée de* 5 *mètres, cette poutre devant*

recevoir la charge uniforme de 5.500 *kilogr. Cette poutre doit être constituée par une âme et quatre cornières.*

SOLUTION. — Adoptons le coefficient de travail de 6 kilogr. par millimètre carré.

Calculons le rapport de la portée de la poutre à sa hauteur, soit :

$$\frac{l}{h} = \frac{5^m,00}{0^m,30} = 16,6.$$

Cherchons, tableau page 262, dans la colonne $\frac{l}{h}$ le nombre qui approche le plus de ce rapport : c'est 16,5, à la droite duquel est inscrit, dans la colonne marquée 6 kilogr. par millimètre carré, le nombre :

$$119 = \frac{pl}{F} = \frac{5.500^{kg}}{F},$$

d'où :

$$F = \frac{5.500}{119} = 46 \text{ kilogr. environ.}$$

Tel est le poids de la poutre en tôle par mètre, auquel il faut ajouter une plus-value pour les têtes de rivets et pour les couvre-joints, s'il y a lieu. Le poids calculé est le poids théorique strictement nécessaire pour fournir la résistance imposée.

Fers à simple T employés comme petites solives. — En appliquant la formule théorique de la valeur du module de section à un grand nombre de profils à simple T, on reconnaît que l'on peut écrire approximativement le module de section comme suit :

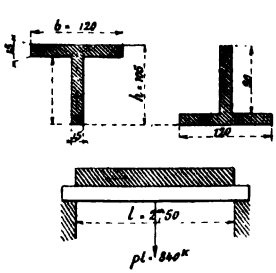


Fig. 62.

$$\frac{I}{n} = 0,100Sh. \qquad (1)$$

Or, F étant le poids du fer par mètre, et 7.800 kilogr. le poids du mètre cube de fer, on a :

$$F = S \times 7.800 \times 1^m,00,$$

d'où :

$$S = \frac{F}{7.800};$$

par suite, (1) devient :

$$\frac{I}{n} = 0,100 \times \frac{F}{7.800} h = 0,0000128Fh.$$

D'autre part, on a :

$$\frac{pl^2}{8} = R\frac{I}{n} = R \times 0,1 \frac{F}{7.800} h,$$

d'où :

$$\frac{pl}{F} = \frac{8R \times 0,1}{7.800}\left(\frac{h}{l}\right),$$

ou

$$\frac{pl}{F} = 102,5R\left(\frac{h}{l}\right).$$

Or on a trouvé pour le fer à double **T** (petites ailes) (p. 257) :

$$\frac{pl}{F} = 308R\left(\frac{h}{l}\right).$$

On remarque que 102,5 est à peu près le 1/3 de 308. On peut donc prendre le 1/3 des valeurs des coefficients du tableau p. 257.

Fers laminés à simple T, employés comme solives

RAPPORT $\left(\frac{l}{h}\right)$ de la longueur du fer à sa hauteur	VALEURS DE $\frac{pl}{F}$ CALCULÉES AVEC LES COEFFICIENTS			RAPPORT $\left(\frac{l}{h}\right)$ de la longueur du fer à sa hauteur	VALEURS DE $\frac{pl}{F}$ CALCULÉES AVEC LES COEFFICIENTS		
	6 kilogr. par millimètre carré	8 kilogr. par millimètre carré	10 kilogr. par millimètre carré		6 kilogr. par millimètre carré	8 kilogr. par millimètre carré	10 kilogr. par millimètre carré
8	76,9	102	128	24,5	25,0	33,5	41,6
8,5	72,3	96,4	120	25	24,6	32,8	41,0
9	67,9	91,6	113	25,5	24,0	32,0	40,0
9,5	64,8	86,4	108	26	23,6	31,4	39,3
10	61,5	82,4	102	26,5	23,2	30,9	38,6
10,5	58,5	78,1	97,6	27	22,8	30,4	38,0
11	56,0	74,6	93,3	27,5	22,4	29,8	37,3
11,5	53,6	71,4	89,3	28	22,0	29,3	36,6
12	51,1	68,2	85,3	28,5	21,6	28,8	36,0
12,5	49,2	65,6	82,0	29	21,2	28,2	35,3
13	47,4	63,2	79,0	29,5	20,8	27,7	34,6
13,5	45,6	60,8	76,0	30	20,5	27,3	34,2
14	43,9	58,6	73,3	30,5	20,3	27,1	33,9
14,5	42,4	56,5	70,6	31	19,8	26,4	33,1
15	41,0	54,6	68,3	31,5	19,5	26,0	32,6
15,5	39,6	52,8	66,0	32	19,2	25,6	32,0
16	38,4	51,2	64,0	32,5	18,9	25,2	31,6
16,5	37,2	49,6	62,0	33	18,6	24,8	31,1
17	36,2	48,2	60,3	33,5	18,3	24,5	30,6
17,5	35,1	46,8	58,6	34	18,1	24,1	30,2
18	34,2	45,6	57,0	34,5	17,8	23,7	29,9
18,5	33,2	44,2	55,3	35	17,6	23,4	29,3
19	32,4	43,2	54,0	35,5	17,3	23,1	29,0
19,5	31,6	42,1	52,6	36	17,1	22,8	28,5
20	30,7	41,0	51,3	36,5	16,8	22,5	28,1
20,5	30,0	40,0	50,0	37	16,7	22,3	27,9
21	29,2	38,9	48,6	37,5	16,4	21,8	27,3
21,5	28,6	38,1	47,6	38	16,2	21,6	27,0
22	28,0	37,4	46,6	38,5	15,9	21,3	26,6
22,5	27,3	36,4	45,6	39	15,7	21,0	26,3
23	26,7	35,6	44,6	39,5	15,5	20,7	25,9
23,5	26,2	34,9	43,6	40	15,4	20,5	25,6
24	25,6	34,1	42,6				

FORMULE : $$\frac{pl}{F} = 102{,}5R\left(\frac{h}{l}\right);$$

h = *hauteur de la poutre ou du* **T** ;
l = *portée de la poutre ;*
R = 6, 8 *et* 10 *kilogr. par millimètre carré ;*
F = *poids de la poutre par mètre;*
pl = *charge totale et uniforme de la poutre.*

Applications du tableau précédent. — PREMIÈRE QUESTION. — *Calculer la charge uniforme que peut recevoir une solive en fer à simple* **T** *de* $2^m,50$ *de portée et de* $0^m,105$ *de hauteur; le* **T** *ayant* $0^m,120$, *avec une épaisseur moyenne de* $0^m,015$, *pesant* $24^{kg},6$ *le mètre.*

Prenons le rapport de la portée de la solive à sa hauteur, soit :

$$\frac{2^m,50}{0^m,105} = 23{,}8,$$

en nombre rond 24. Pour ce rapport le tableau de la page 265 donne, avec le coefficient 8 kilogr. par millimètre carré, le rapport (*en regard de* 24, 3e *col.*) :

$$\frac{pl}{F} = 34{,}1,$$

d'où :

$$pl = 34{,}1 \times F = 34{,}1 \times 24^{kg},6,$$

ou $$pl = 840 \text{ kilogr. environ.}$$

SECOND EXEMPLE. — *Calculer le poids d'une solive métallique à simple* **T** *d'une portée de* $2^m,50$ *devant recevoir la charge uniforme de* 840 *kilogr. La hauteur de la solive est de* $0^m,105$. *Le coefficient de sécurité ne doit pas dépasser* 8 *kilogr. par millimètre carré ?*

SOLUTION. — Prenons le rapport de la portée de la solive à sa hauteur :

$$\frac{l}{h} = \frac{2^m,50}{0^m,105} = 23{,}8,$$

soit 24 en nombre rond. Le tableau de la page 265 donne pour ce rapport 24 avec le coefficient 8 kilogr. par millimètre carré :

$$\frac{pl}{F} = 34{,}1,$$

d'où : $$F = \frac{pl}{34{,}1} = \frac{840}{34{,}1} = 24^{kg},7,$$

soit : $$F = 25 \text{ kilogr. le mètre.}$$

Charge des fers cornières à la flexion. — FORMULE. — Les usines fabriquent un grand nombre de fers cornières qui sont utilisés dans la construction des poutres pour assembler l'âme avec les tables. Mais on emploie souvent les cornières isolément comme

petites solives pour linteaux et planchers. Il est utile, par conséquent, d'en connaître la résistance à la flexion (*fig.* 62 *bis*, p. 269).

Suivant les usines, les fers cornières présentent une très grande diversité dans leurs profils et leurs poids. Toutefois il y a deux grandes divisions : les cornières à branches égales et les cornières à branches inégales.

Pour les cornières à branches égales on reconnaît que l'on peut calculer approximativement leur module de section par la formule suivante :

$$\frac{I}{n} = 0{,}118Sh, \qquad (1)$$

S étant la section de la cornière en mètres carrés, et h sa hauteur verticale rapportée au mètre. Or, F étant le poids par mètre courant de la cornière, on peut l'exprimer ainsi :

$$F = S \times 1^{m} \times 7.800^{kg},$$

d'où :

$$S = \frac{F}{7800}; \qquad (2)$$

par suite, l'expression (1) devient :

$$\frac{I}{n} = 0{,}118 \times \frac{F}{7800} h,$$

ou

$$\frac{I}{n} = 0{,}0000151Fh. \qquad (3)$$

D'autre part, on a :

$$\frac{pl^2}{8} = R\frac{I}{n}. \qquad (4)$$

Les formules (3) et (4) donnent :

$$pl = 8R \times 0{,}0000151Fh, \qquad (5)$$

d'où :

$$\frac{pl}{F} = 121R\left(\frac{h}{l}\right),$$

formule obtenue en rapportant R au millimètre carré ; ce qui a été fait en multipliant (5) par 1.000.000. Dans l'application de cette formule, on fera R = 6, 8, 10 kilogr. par millimètre carré, suivant les applications.

C'est au moyen de cette dernière relation que nous avons calculé le tableau suivant qui donne les valeurs du rapport (pl : F) pour une série de valeurs du rapport (l : h) de la portée de la cornière à branches égales à la longueur des branches.

Nous donnons ci-après le tableau de ces valeurs calculées.

Tableau des cornières à branches égales. — Formule :

$$\frac{pl}{F} = 121R\left(\frac{h}{l}\right).$$

RAPPORT $\left(\frac{l}{h}\right)$ de la portée de la solive à sa hauteur	VALEURS DE $\frac{pl}{F}$ CALCULÉES AVEC LES COEFFICIENTS			RAPPORT $\left(\frac{l}{h}\right)$ de la portée de la solive à sa hauteur	VALEURS DE $\frac{pl}{F}$ CALCULÉES AVEC LES COEFFICIENTS		
	6 kilogr. par millimètre carré	8 kilogr. par millimètre carré	10 kilogr. par millimètre darré		6 kilogr. par millimètre carré	8 kilogr. par millimètre carré	10 kilogr. par millimètre carré
8	90,6	120	151	24,5	29,5	39,4	49,3
8,5	85,2	113	142	25	29,0	38,7	48,4
9	80,4	107	134	25,5	28,4	37,9	47,4
9,5	76,2	101	127	26	27,9	37,2	46,5
10	72,6	96,8	121	26,5	27,3	36,4	45,6
10,5	69,0	92,0	115	27	26,8	.35,8	44,8
11	66,0	88,0	110	27,5	26,4	35,2	44,0
11,5	63,0	84,0	105	28	25,9	34,5	43,2
12	60,0	80,0	100	28,5	25,4	33,9	42,4
12,5	58,0	77,4	96,8	29	25,0	33,3	41,7
13	55,8	74,4	93,0	29,5	24,6	32,8	41,0
13,5	53,7	71,6	89,6	30	24,1	32,2	40,3
14	51,8	69,1	86,4	30,5	23,7	31,6	39,6
14,5	50,0	66,6	83,3	31	23,4	31,2	39,0
15	48,3	64,4	80,6	31,5	23,0	30,7	38,4
15,5	46,8	62,4	78,0	32	22,6	30,2	37,8
16	45,3	60,4	75,6	32,5	22,3	29,8	37,3
16,5	43,9	58,6	73,3	33	21,9	29,2	36,6
17	43,0	57,4	71,1	33,5	21,6	28,8	36,1
17,5	41,4	55,2	69,1	34	21,3	28,4	35,5
18	40,3	53,7	67,2	34,5	21,0	28,0	35,0
18,5	39,2	52,3	65,4	35	20,7	27,6	34,5
19	38,1	50,8	63,6	35,5	20,4	27,2	34,0
19,5	37,2	49,6	62,0	36	20,1	26,8	33,6
20	36,3	48,4	60,5	36,5	19,8	26,4	33,1
20,5	35,4	47,2	59,0	37	19,6	26,1	32,7
21	34,5	46,0	57,6	37,5	19,3	25,7	32,2
21,5	33,7	44,9	56,2	38	19,0	25,4	31,8
22	33,0	44,0	55,0	38,5	18,8	25,1	31,4
22,5	32,2	42,9	53,7	39	18,6	24,8	31,0
23	31,5	42,0	52,6	39,5	18,3	24,4	30,6
23,5	30,8	41,1	51,4	40	18,1	24,1	30,2
24	30,2	40,3	50,4				

h = *hauteur ou côté de la cornière ;*
l = *portée ou longueur de la cornière ;*
R = 6, 8 *et* 10 *kilogr. par millimètre carré ;*
F = *poids de la cornière par mètre, en kilogr. ;*
pl = *charge totale et uniforme de la cornière en kilogr. ;*

$\frac{l}{h}$ = *rapport de la portée de la cornière à son côté ou longueur de branche;*

$\frac{h}{l}$ = *rapport inverse du précédent;*

$\frac{pl}{F}$ = *rapport de la charge fléchissante pl au poids* F *de la cornière par mètre.*

Applications du tableau précédent. — Première question. — *Calculer la charge uniforme que l'on peut faire porter à une solive constituée par deux cornières accolées comme le montre le croquis, ces cornières pesant chacune* $24^{kg},4$ *et ayant une portée de* 2 *mètres.*

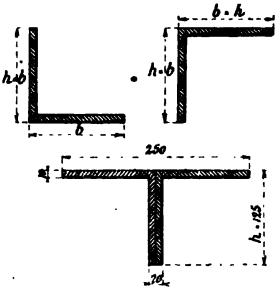


Fig. 62 *bis.*

Solution. — On peut faire usage de la formule (p. 268) :

$$\frac{pl}{F} = 121R\left(\frac{h}{l}\right),$$

ou bien du tableau (p. 268).

Dans l'exemple on a :

$$F = 13 \text{ kilogr.},$$

$$\frac{l}{h} = \frac{2^m}{0^m,125} = 16.$$

Pour ce rapport le tableau (p. 268) donne avec le coefficient 6 kilogr. par millimètre carré :

$$\frac{pl}{F} = 44,2,$$

d'où :

$$pl = 44,2 \times 24^{kg},4 = 1.078 \text{ kilogr.},$$

et pour les deux cornières assemblées la charge sera double, ou :

$$pl = 1.078 \times 2 = 2.150 \text{ kilogr. (environ).}$$

Deuxième question. — *Calculer le poids d'un linteau métallique d'une portée de* 2 *mètres devant recevoir une charge de* 2.150 *kilogr. Ce linteau doit être constitué par deux cornières égales de* $0^m,125$.

Solution. — Chaque fer cornière doit porter :

$$2.450 : 2 = 1.075 \text{ kilogr.}$$

Le rapport de la portée à la hauteur de la cornière est :

$$\frac{l}{h} = \frac{2^m}{0^m,125} = 16.$$

Pour ce rapport le tableau (p. 268) donne avec le coefficient de sécurité 6 kilogr. par millimètre carré :

$$\frac{pl}{F} = 44,2,$$

d'où :

$$F = \frac{pl}{44,2} = \frac{1.075}{44,2} = 24 \text{ kilogr.}$$

Si l'on fait les calculs avec le coefficient de sécurité 10 kilogr. par millimètre carré, on aura pour le même rapport 16 :

$$\frac{pl}{F} = 93,7,$$

d'où le poids approximatif de la cornière sera :

$$F = \frac{pl}{93,7} = \frac{1.075}{93,7} = 14^{kg},5.$$

On cherchera ensuite, dans un catalogue d'usine, une cornière ayant une hauteur de $0^m,125$ dont le poids se rapproche de $14^{kg},5$. Si cette recherche ne donnait pas une solution satisfaisante, on fera les calculs en modifiant un peu soit la hauteur, soit le poids, tout en satisfaisant à la charge imposée.

Résistance à la flexion d'une cornière à branches inégales. — Les cornières à branches inégales sont utilisées dans les assemblages des poutres en tôle. Elles peuvent être employées pour former des linteaux et des poutrelles. Les usines en fabriquent un grand nombre de modèles.

A la flexion, elles présentent une plus grande résistance, lorsque la plus longue branche est placée verticalement. Le rapport des longueurs des deux branches est tellement variable qu'une formule établie sur une moyenne peut donner dans l'application une très faible approximation. On est donc obligé de recourir au calcul pour déterminer le module de flexion. Il en est de même pour les fers en **U**, les fers Zorès et les poutres à caissons. Toutes ces formes donnent des résultats inférieurs à ceux des poutrelles en forme de double **T** symétrique.

Poutre en tôle à double T comprenant une âme verticale pleine, deux tables et quatre cornières. — Le moment d'inertie de la poutre est exprimé par la relation :

$$I = \frac{bh^3 - (b'h'^3 + b''h''^3 + b'''h'''^3)}{12},$$

et le module de flexion par :

$$\frac{I}{n} = \frac{2I}{h}.$$

En appliquant cette formule à des poutres diversement consti-

tuées, on reconnaît que le moment d'inertie dépend surtout de la grandeur de la section S de la poutre et de sa hauteur h et que l'on peut écrire approximativement :

$$I = 0{,}182Sh^2. \qquad (1)$$

D'autre part, le poids F de la poutre métallique par mètre a pour expression :

$$F = S \times 1^m \times 7.800^{kg}, \qquad (1)$$

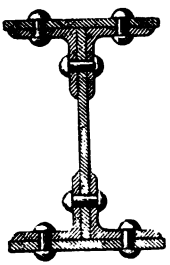


Fig. 63.

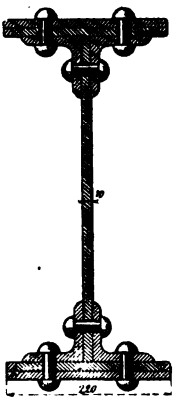


Fig. 64.

7.800 kilogr. étant le poids du mètre cube de fer. De (2) on déduit :

$$S = \frac{F}{7.800}.$$

Le profil de la poutre étant symétrique, le module de flexion a pour expression :

$$\frac{I}{n} = \frac{2I}{h} = \frac{0{,}182Sh^2 \times 2}{h} = 0{,}364Sh,$$

ou

$$\frac{I}{n} = 0{,}364\,\frac{F}{7.800}\,h = 0{,}00004666Fh,$$

D'autre part :

$$\frac{pl^2}{8} = R\,\frac{I}{n} = R \times 0{,}00004666hF,$$

d'où :

$$\frac{pl}{F} = R \times 0{,}0000466F\left(\frac{h}{l}\right) \times 8,$$

et en rapportant R au millimètre carré (ce qui conduit à multiplier

l'expression précédente par 1.000.000), il vient en nombre rond :

$$\frac{pl}{F} = 375R\left(\frac{h}{l}\right). \qquad (A)$$

Dans les applications de cette formule on prendra R égal à 6, 8 ou 10 kilogr. Les poids *pl* et F sont exprimés en kilogr., *h* et *l* en mètres.

On a trouvé (p. 257) pour les fers à double **T**, petites ailes, une formule analogue, dans laquelle le coefficient 375 est remplacé par 308 ; il en résulte que la poutre en tôle à double **T**, constituée avec des tables et des cornières, présente sur le fer laminé, double **T**, petites ailes, une économie dans le rapport :

$$\frac{375}{308} = 1,22,$$

environ 1/5.

Nota. — Il est dit ci-dessus que les poutres en tôle assemblées avec cornières présentent une économie sur les fers laminés ; mais il faut bien observer que les poutres exigent une main-d'œuvre dispendieuse ; de plus, dans la formule ci-dessus, le poids est strictement calculé d'après le profil géométrique. Pratiquement, il y a une plus-value de poids pour les têtes de rivets qu'on peut évaluer à 2 0/0 du poids théorique.

Ces circonstances ont pour résultat de diminuer l'économie qu'on pourrait attendre de l'emploi des poutres assemblées. D'autre part, l'emploi des fers laminés à double **T** de grande hauteur est limité par la raison que l'outillage des usines est dispendieux pour la fabrication des fers à double **T** de grande hauteur et, par conséquent, d'un grand poids. Pour des poids considérables, le travail du laminoir présente de grandes difficultés, qui se traduisent par un surcroît de dépenses. Enfin il faut dire que, pour de grandes portées, les poutres en tôle s'imposent, parce que les fers à double **T** sont insuffisants.

Nous avons calculé le tableau suivant qui, pour une série de valeurs du rapport (l : h) de la portée à la hauteur de la poutre donne le rapport (pl : F) de la charge totale et uniforme de la poutre à son poids par mètre courant (Voir les applications ci-après du tableau p. 273).

Dans ce tableau :

$\frac{pl}{F}$ = *rapport de la charge totale de la poutre à son poids par mètre courant;*

$\frac{l}{h}$ = *rapport de la portée de la poutre à sa hauteur verticale.*

Le tableau donne les valeurs du rapport (pl : F) avec les coefficients 6 kilogr., 8 kilogr. et 10 kilogr. par millimètre carré.

$\left(\frac{l}{h}\right)$	VALEURS DE $\frac{pl}{F}$ AVEC LES COEFFICIENTS			$\left(\frac{l}{h}\right)$	VALEURS DE $\frac{pl}{F}$ AVEC LES COEFFICIENTS		
	6 kilogr. par millimètre carré	8 kilogr. par millimètre carré	10 kilogr. par millimètre carré		6 kilogr. par millimètre carré	8 kilogr. par millimètre carré	10 kilogr. par millimètre carré
8	281	375	469	24,5	91,8	122	153
8,5	264	353	441	25	90,0	120	150
9	250	333	416	25,5	88,2	117	147
9,5	237	315	394	26	86,5	115	144
10	225	300	375	26,5	84,9	113	141
10,5	214	285	357	27	83,2	111	138
11	204	273	341	27,5	81,8	109	136
11,5	195	261	326	28	80,4	107	134
12	187	250	312	28,5	78,9	105	131
12,5	180	240	300	29	77,5	103	129
13	173	230	288	29,5	76,2	101	127
13,5	166	222	277	30	75,0	100	125
14	160	214	268	30,5	73,8	98,4	123
14,5	155	207	258	31	72,6	96,8	121
15	150	200	250	31,5	71,4	95,2	119
15,5	145	193	242	32	70,2	93,6	117
16	140	187	234	32,5	69,1	92,2	115
16,5	136	182	227	33	68,1	90,8	113
17	132	176	220	33,5	67,2	89,6	112
17,5	128	171	214	34	66,1	88,1	110
18	125	167	208	34,5	65,1	86,8	108
18,5	121	162	202	35	64,2	85,6	107
19	118	158	197	35,5	63,3	84,4	105
19,5	115	154	192	36	62,4	83,2	104
20	112	150	187	36,5	61,6	82,1	102
20,5	110	146	183	37	60,7	81,0	101
21	107	142	178	37,5	60,0	80,0	100
21,5	104	139	174	38	59,2	78,9	98,7
22	102	136	170	38,5	58,4	77,9	97,4
22,5	100	133	166	39	57,6	76,8	96,1
23	97,8	130	163	39,5	56,9	75,9	94,9
23,5	95,7	127	159	40	56,2	75,0	93,7
24	93,7	125	156				

Applications du tableau précédent

Première question. — *Calculer la charge totale et uniforme que peut porter une poutre en tôle de 10 mètres de longueur sur* $0^m,65$ *de hauteur, constituée ainsi :*

Pour 1 mètre de longueur :

L'âme : $0^m,60 \times 0^m,008 \times 1^m \times 7.800^{kg} = 37^{kg},4$
4 cornières à $12^{kg},5$ l'une, soit 50
Tables : $2 \times 0^m,25 \times 1^m \times 0,010 \times 7.800 = 117$

Poids total de la poutre $204^{kg},4$

soit le poids de la poutre par mètre F = 205 kilogr. On cal-

culera la charge totale et uniforme de la poutre par la formule (A) (p. 272), savoir :

$$\frac{pl}{F} = 375R\left(\frac{h}{l}\right),$$

ou par le tableau de la page 273. Dans l'exemple actuel on a pour le rapport de la portée à la hauteur de la poutre :

$$\frac{10^m}{0,65} = 15,38.$$

Le tableau de la page 273 donne avec le coefficient 6 kilogr. par millimètre carré pour le rapport 15,5, la valeur :

$$\frac{pl}{F} = 145,$$

d'où :

$$pl = 145F,$$

et

$$pl = 205 \times 145 = 29.760 \text{ kilogr.},$$

environ 29 tonnes et demie.

Deuxième question. — *Calculer les éléments d'une poutre en tôle de 10 mètres de portée et de 0m,65 de hauteur qui doit recevoir une charge totale, uniforme de 30 tonnes en admettant un coefficient de travail de 6 kilogr. par millimètre carré.*

Solution. — Le rapport de la portée à la hauteur de la poutre est :

$$\frac{10^m,00}{0^m,65} = 15,38.$$

Dans le tableau de la page 273, première colonne à gauche, la valeur qui approche le plus de ce rapport est 15,5, pour laquelle le rapport (pl : F) calculé avec le coefficient 6 kilogr. par millimètre carré est :

$$\frac{pl}{F} = 145,$$

d'où :

$$F = \frac{pl}{145} = \frac{30.000}{145} = 206 \text{ kilogr.}$$

Il s'agit de constituer une poutre de 0m,65 de hauteur pesant 206 kilogr. le mètre. On comprend que la question présente une infinité de solutions ; mais on peut procéder ainsi par tâtonnement :

Adoptons une âme de 8 millimètres d'épaisseur et de 0m,60 de hauteur, son poids serait pour 1 mètre de longueur :

$$0^m,60 \times 0^m,008 \times 1^m,00 \times 7.800^{kg} = 37^{kg},4.$$

Prenons quatre cornières de $12^{kg},5$ l'une ; ce qui donne :

$$12^{kg},5 \times 4 = 50 \text{ kilogr.},$$

qui, ajoutés au poids de l'âme, font 88 kilogr. ; d'où l'on conclut que les deux tables devront peser ensemble :

$$206 - 88 = 118,$$

et chacune :

$$118 : 2 = 59 \text{ kilogr.}$$

Soit une table de $0^m,25$ de largeur, son épaisseur e doit satisfaire à la relation (pour une longueur de 1 mètre) :

$$59^{kg} = 0^m,25e \times 1^m,00 \times 7.800^{kg},$$

d'où :

$$e = 0^m,030 \text{ environ.}$$

On composera donc les tables au moyen de trois tôles de 10 millimètres d'épaisseur. Il sera facile de calculer d'autres profils, en partant d'une largeur différente de table ou d'une épaisseur prise à volonté.

La relation ci-dessus permettra de calculer la hauteur de la poutre, les autres éléments étant donnés.

Poutres en tôle à treillis, sans âme, comprenant deux tables et quatre cornières. — Dans les poutres de ce système (*fig.* 65) l'âme est remplacée par un treillis formé soit par des barres plates, soit par des cornières placées en croisillons, ordinairement inclinés à 45°.

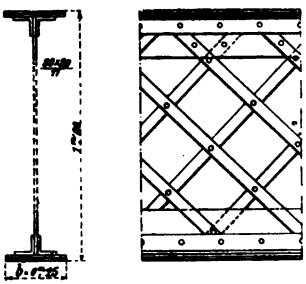


Fig. 65.

Dans cette sorte de poutre la section pleine comprend les semelles ou tables, les quatre cornières et les deux tôles verticales sur lesquelles sont rivées les barres de treillis à la partie supérieure et à la partie inférieure de la poutre, près des tables.

Malgré les proportions très variables des éléments qui constituent la partie pleine de la poutre à treillis, on reconnaît que le moment d'inertie de cette section (abstraction faite du treillis) peut s'exprimer approximativement en fonction de cette section et de la hauteur de la poutre par la relation :

$$I = kSh^2,$$

h étant la hauteur de la poutre, S sa section, et K un coefficient

un peu variable, mais dont la valeur moyenne est $K = 0{,}22$; de sorte que l'on peut écrire :

$$I = 0{,}22Sh^2. \qquad (1)$$

D'autre part, en désignant par F le poids par mètre courant de la poutre (ce poids comprenant les tables, les quatre cornières et les deux tôles verticales des attaches du treillis), on a, pour 1 mètre de longueur de poutre, le poids suivant :

$$F = S \times 1^m \times 7.800 \text{ kilogr.}, \qquad (2)$$

7.800 étant le poids du mètre cube de fer ; d'où :

$$S = \frac{F}{7.800}.$$

Par suite, les relations (1) et (2) permettront d'écrire pour le module de la section pleine de la poutre $\left(\text{en ayant égard à ce que la demi-hauteur } n \text{ de la poutre} = \frac{h}{2}\right)$:

$$\frac{I}{n} = \frac{kSh^2}{\frac{h}{2}} = 0{,}44\,\frac{F}{7.800} \times h,$$

ou

$$\frac{I}{n} = 0{,}0000564Fh.$$

D'autre part, la charge uniforme de la poutre étant pl, on a :

$$\frac{pl^2}{8} = R\,\frac{I}{n} = R \times 0{,}0000564Fh\,;$$

d'où l'on déduit :

$$\frac{pl}{F} = 0{,}0000564 \times 8R\left(\frac{h}{l}\right),$$

ou

$$\frac{pl}{F} = 0{,}000450R\left(\frac{h}{l}\right),$$

et en rapportant le coefficient de sécurité R au millimètre carré, ce qui oblige à multiplier par 1.000.000 l'expression précédente, on obtient la formule approximative :

$$\frac{pl}{F} = 450R\left(\frac{h}{l}\right), \qquad (B)$$

formule dans laquelle on fera R = 6, 8 ou 10 kilogr. par millimètre carré et dans laquelle pl et F sont exprimés en kilogrammes.

Nota. — Pour la poutre en tôle pleine avec âme, tables et cornières, on a trouvé :

$$\frac{pl}{F} = 375R\left(\frac{h}{l}\right).$$

On en conclut que la poutre en tôle à treillis présente sur la poutre métallique à âme pleine une économie théorique dans le rapport de :

$$\frac{450}{375} = 1,2 \text{ (environ)},$$

c'est-à-dire que, pour la même portée l, la même hauteur h et le même poids F de la poutre par mètre, la charge de la poutre à treillis est supérieure de 1/5 à celle de la poutre pleine.

Il faut remarquer que l'avantage signalé est théorique, par la raison que le treillis exige une main-d'œuvre et un poids assez considérables résultant des barres de treillis dont on a fait abstraction dans les calculs ci-dessus. En réalité, le poids de la poutre à treillis est sensiblement plus élevé que celui de la poutre à âme pleine. La préférence donnée à la poutre à treillis, surtout pour de grandes hauteurs, est due à l'aspect léger qu'elle présente, qui est souvent utilisé au point de vue décoratif.

Nous donnons (p. 278) un tableau des rapports de la charge totale d'une poutre à treillis à son poids par mètre (à part le poids du treillis) pour une série de valeurs du rapport de la portée de la poutre à sa hauteur.

Tableau des poutres en tôle à treillis, sans âme, comprenant deux tables et quatre cornières. — Formule :

$$\frac{pl}{F} = 450R\left(\frac{h}{l}\right);$$

pl = *charge totale et uniforme ;*

F = *poids de la poutre par mètre, abstraction faite du poids du treillis ;*

R = *coefficient de sécurité,* 6, 8 *et* 10 *kilogr. par millimètre carré ;*

h = *hauteur de la poutre, et* l *portée de la poutre.*

Application du tableau (p. 278) **à une poutre à treillis.** — *Calculer la charge que peut porter une poutre à treillis d'une hauteur de* 1 *mètre et d'une portée de* 10 *mètres. La poutre est constituée par deux tables de* $0^m,250 \times 0^m,02$, *plus quatre cornières pesant chacune* 12 *kilogr. et de deux tôles verticales de* $0^m,15 \times 0^m,01$ *sur lesquelles sont rivées les barres de treillis. Le coefficient de travail devra être pris égal à* 6 *kilogr. par millimètre carré.*

$\left(\frac{l}{h}\right)$	VALEURS DE $\frac{pl}{F}$ AVEC LES COEFFICIENTS			$\left(\frac{l}{h}\right)$	VALEURS DE $\frac{pl}{F}$ AVEC LES COEFFICIENTS		
	6 kilogr. par millimètre carré	8 kilogr. par millimètre carré	10 kilogr. par millimètre carré		6 kilogr. par millimètre carré	8 kilogr. par millimètre carré	10 kilogr. par millimètre carré
8	337	450	562	24,5	110	146	183
8,5	317	423	529	25	108	144	180
9	299	399	499	25,5	105	141	176
9,5	283	378	472	26	103	138	172
10	271	361	452	26,5	101	135	169
10,5	257	342	428	27	99,5	132	166
11	245	327	409	27,5	97,9	130	163
11,5	234	312	391	28	96,5	128	160
12	224	299	374	28,5	94,3	125	157
12,5	216	288	360	29	92,5	123	154
13	207	276	345	29,5	91,4	121	152
13,5	199	265	332	30	90,0	120	150
14	193	257	321	30,5	88,5	118	147
14,5	185	247	309	31	87,0	116	145
15	180	240	300	31,5	85,6	114	142
15,5	174	232	290	32	84,0	112	140
16	168	225	281	32,5	82,8	110	138
16,5	163	217	272	33	81,5	108	136
17	158	211	264	33,5	80,6	107	134
17,5	154	205	250	34	79,0	105	132
18	149	199	249	34,5	77,7	103	129
18,5	145	193	242	35	77,0	102	128
19	141	189	236	35,5	75,6	100	126
19,5	138	184	230	36	74,5	99,5	124
20	135	180	226	36,5	73,4	97,9	122
20,5	131	175	219	37	72,7	96,9	121
21	128	171	214	37,5	72,0	96,0	120
21,5	126	167	208	38	71,0	94,5	118
22	122	163	204	38,5	70,0	93,4	116
22,5	119	159	199	39	69,1	92,2	115
23	117	156	195	39,5	68,2	91,0	113
23,5	114	152	190	40	67,4	89,9	112
24	112	149	187				

Solution *par le calcul.* — Les dimensions se rapportant au profil adopté sont les suivantes :

$$b = 0^m,25 \qquad h = 1^m,09$$
$$b' = 0^m,08 \qquad h' = 0^m,96$$
$$b'' = 0^m,14 \qquad h'' = 0^m,94$$
$$b''' = 0^m,02 \qquad h''' = 0^m,80$$
$$b^{IV} = 0^m,01 \qquad h^{IV} = 0^m,66$$

Avec ces données la formule :

$$\frac{I}{n} = \frac{bh^3 - (b'h'^3 + b''h''^3 + b'''h'''^3 + b^{IV}h^{IV3})}{6h}$$

donne :

$$\frac{I}{n} = 0{,}00830\ ;$$

par suite, la formule :

$$\frac{pl^2}{8} = R\,\frac{I}{n}$$

donne en prenant le coefficient de sécurité R = 6.000.000 kilogr. par mètre carré :

$$pl = 39.800 \text{ kilogr.}$$

Solution *par la formule* (B) (p. 276) :

$$\frac{pl}{F} = 450R\left(\frac{h}{l}\right). \qquad (1)$$

Calculons le poids F de la poutre, abstraction faite du treillis :

Section des deux tables :	$0^m{,}25 \times 0{,}02 \times 2 =$	$0^{mq}{,}0100$
Deux tôles verticales :	$0^m{,}15 \times 0{,}01 \times 2 =$	$0^{mq}{,}0030$
		$0^{mq}{,}0130$
Poids des deux tables et des deux tôles verticales pour 1 mètre de longueur :	$0{,}013 \times 1^m\ 7.800 =$	101 kilogr.
Quatre cornières à 12 kilogr. l'une, soit :		48 kilogr.
Poids de la poutre (sans le treillis) :		149 kilogr.

D'après cette valeur la formule ci-dessus (1) donne :

$$pl = 450FR\left(\frac{h}{l}\right).$$

En prenant R = 6 kilogr., par millimètre carré ;
$h = 1$ mètre ; $l = 10$ mètres ;
F = 146 kilogr. ; on obtient :

$$pl = 40.000 \text{ kilogr.} = 40 \text{ tonnes.}$$

Au moyen du tableau (p. 278), on procédera ainsi : après avoir calculé le poids de la poutre par mètre, savoir :

$$F = 148 \text{ kilogr.},$$

on cherchera (p. 278) dans le tableau le rapport 10 de la portée à la hauteur de la poutre ; à côté, à droite, dans la colonne (6 kilogr. par millimètre carré) on lit le nombre proportionnel :

$$271 = \frac{pl}{F},$$

d'où la charge totale et uniforme est :

$$pl = 271 \times F = 271 \times 148$$

ou

$$pl = 40 \text{ tonnes environ,}$$

ou 4 tonnes par mètre courant de poutre.

Calcul des barres de treillis. — Nous admettrons que le treillis supporte seul l'effort tranchant.

Dans l'exemple actuel l'effort tranchant maximum se produit sur chacun des appuis extrêmes et a pour valeur la moitié de la charge totale. On a donc :

$$T = \frac{pl}{2} = \frac{40.000^{kg}}{2} = 20.000 \text{ kilogr.}$$

Nous rappelons la formule usuelle qui donne la section d'une barre de treillis en fonction de l'effort tranchant T :

$$S = \frac{T}{2nR \cos \alpha}; \qquad (1)$$

dans laquelle n est le nombre de barres rencontrées par un plan vertical, α est l'inclinaison des barres de treillis avec l'horizontale.

Admettons que trois barres de treillis de même sens soient rencontrées par un plan normal à la poutre et que l'inclinaison α soit de 45°, ce qui est l'inclinaison la plus usitée. La formule ci-dessus donne pour T = 20.000 kilogr., en prenant R = 4 kilogr. par millimètre carré :

$$S = \frac{20.000}{2 \times 3 \times 4 \frac{\sqrt{2}}{1}} = 1.170^{mmq} = 70 \times 16.$$

On déterminera la section des barres de treillis par tâtonnement, en cherchant une section de barre égale au moins à 1.170 millimètres carrés. Si la barre était rectangulaire, on pourrait adopter pour sa section $70 \times 17 = 1.190$ millimètres carrés. On pourra prendre aussi un fer en **U** présentant la section nécessaire.

L'effort tranchant diminue à mesure qu'on se rapproche du milieu de la portée. Ainsi, pour un plan normal distant de $2^m,50$ de l'appui, l'effort tranchant a pour valeur :

$$T' = \frac{pl}{2} p \times 2^m,50$$

ou

$$T' = 10.000 \text{ kilogr.} = \frac{T}{2}.$$

On pourra donc réduire la section des barres à moitié en diminuant leur épaisseur, c'est-à-dire leur dimension perpendiculaire au plan de la figure. Au milieu de la portée on réduira les sections autant que possible.

SECOND EXEMPLE. — *Question réciproque de la précédente. On se*

propose de construire une poutre à treillis de 10 mètres de longueur et de 1 mètre de hauteur. La charge que pourra porter cette poutre, y compris son propre poids, est évalué à 40 tonnes. On se propose de calculer les éléments de cette poutre de manière que le taux de travail maximum pour les fibres les plus fatiguées ne dépasse pas 6 kilogr. par millimètre carré ?

SOLUTION. — Prenons le rapport de la portée de la poutre à sa hauteur, soit :

$$\frac{l}{h} = \frac{10^m}{1^m} = 10.$$

Pour ce rapport 10, le tableau de la page 278 donne avec le coefficient 6 kilogr. par millimètre carré le rapport :

$$\frac{pl}{F} = 271,$$

d'où le poids par mètre de la poutre (abstraction faite du treillis) a pour valeur :

$$F = \frac{pl}{271} = \frac{40.000^{kg}}{270} = 148 \text{ kilogr.}$$

On cherchera donc un profil de poutre à treillis présentant un poids de 148 kilogr. le mètre.

A cet effet on peut calculer le poids des deux tôles verticales sur lesquelles sont rivées les barres de treillis. Adoptons deux tôles verticales de $0^m,01$ d'épaisseur et de $0^m,15$ de hauteur ; ce qui donne pour le poids par mètre de longueur de ces deux tôles :

$$0^m,15 \times 2 \times 0^m,01 \times 7.800 = 23^{kg},4.$$

Prenons quatre cornières de 80 millimètres de branche sur $0^m,10$ d'épaisseur, pesant environ 10 kilogr. chacune, soit pour quatre cornières 40 kilogr.

Les éléments considérés, les deux tôles verticales et les quatre cornières, font un poids total par mètre courant de poutre :

$$23^{kg},4 + 40^{kg} = 63^{kg},4.$$

Il reste donc pour les deux tables le poids de

$$148^{kg} - 63^{kg},4 = 84^{kg},6,$$

soit pour chacune $42^{kg},3$.

Adoptons une table de $0^m,25$ de largeur, son épaisseur e doit satisfaire à la relation précédente (pour une longueur égale à 1 mètre). On a donc :

$$42^{kg},3 = 0^m,25e \times 7.800 \times 1^m,$$

d'où :

$$e = \frac{42,3}{0,25 \times 7.800} = 0^m,020.$$

On voit comment on procédera par tâtonnements.

Nous rappelons que le poids F par mètre qui a été déduit pour la poutre ne comprend pas le poids des barres de treillis, et que ce poids théorique F se rapporte exclusivement aux éléments indispensables fournissant la résistance nécessaire pour porter la charge totale et uniforme de 40.000 kilogr., comprenant le poids même de la poutre.

Résumé se rapportant aux charges de flexion des fers à double T des cornières et des poutres métalliques. — 1° *Fers à double* **T** (*petites ailes*) :

$$I = 0{,}15Sh^2, \qquad \frac{I}{n} = 0{,}0000384Fh,$$

$$\frac{I}{n} = 0{,}30Sh, \qquad \frac{pl}{F} = 308R\left(\frac{h}{l}\right);$$

2° *Poutre métallique, sans tables, avec âme et quatre cornières:*

$$I = 0{,}16Sh^2, \qquad \frac{I}{n} = 0{,}0000420Fh,$$

$$\frac{I}{n} = 0{,}32Sh, \qquad \frac{pl}{F} = 328R\left(\frac{h}{l}\right);$$

3° *Fers à simple* **T** :

$$\frac{I}{n} = 0{,}100Sh,$$

ou

$$\frac{I}{n} = 0{,}00001285Fh, \qquad \frac{pl}{F} = 102{,}5R\left(\frac{h}{l}\right);$$

4° *Cornières à branches égales:*

$$\frac{I}{n} = 0{,}118Sh,$$

$$\frac{I}{n} = 0{,}0000151Fh, \qquad \frac{pl}{F} = 121R\left(\frac{h}{l}\right);$$

5° *Poutre en tôle avec âme, deux tables et quatre cornières:*

$$I = 0{,}183Sh^2, \qquad \frac{I}{n} = 0{,}0000469Fh,$$

$$\frac{I}{n} = 0{,}366Sh, \qquad \frac{pl}{F} = 375R\left(\frac{h}{l}\right);$$

6° *Poutre en tôle, à treillis, sans âme avec tables et cornières :*

$$I = 0{,}22Sh^2, \qquad \frac{I}{n} = 0{,}0000564Fh,$$

$$\frac{I}{n} = 0{,}44Sh, \qquad \frac{pl}{F} = 450R\left(\frac{h}{l}\right).$$

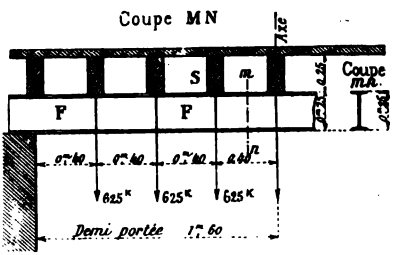
Remarques sur les formules précédentes. — Ces formules permettent de faire des comparaisons pratiques; elles montrent qu'au point de vue de la charge la poutre sans tables (n° 2), avec

âme et quatre cornières, pour un même rapport ($h : l$) de la hauteur de la poutre à sa portée, l'emporte sur le fer n° 1 à double **T** dans le rapport de 328 à 308; la résistance est de 1/15 en plus pour le n° 2.

La poutre en tôle à treillis présente une économie théorique (à part le treillis) sur la poutre à âme pleine dans le rapport de 450 à 375 = 1,2. Dans les mêmes conditions de portée et de hauteur de poutre, la charge a augmenté de 1/5. Mais on reconnaît que, en tenant compte du poids des barres de treillis, la poutre à treillis pèse plus par mètre courant que la poutre à âme pleine.

Le fer à simple **T** (n° 3), pour le même rapport ($h : l$) et pour la même dépense F de fer par mètre, donne une charge qui est environ le 1/3 de celle du fer à double **T**.

Application générale des formules de résistance. — PROBLÈME. — *Calcul d'un plancher d'atelier (bois et fer) (fig. 66). Un plancher d'atelier est constitué par des solives* S, S *en bois de sapin de* $0^m,10 \times 0^m,25$, *espacées d'axe en axe de* $0^m,40$ *et dont la portée est de 4 mètres* (Voir le plan, *fig.* 67). *Ces solives en bois reposent, par leurs extrémités, sur des fers* FF, F'F' *à double* **T** *de* $8^m,20$ *de longueur.*



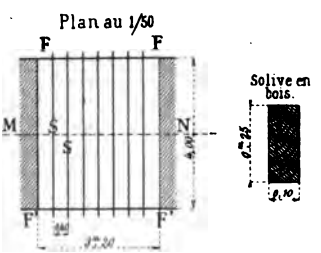


Fig. 66 et 67.

On se propose : 1° *de calculer la charge que peut porter ce plancher;* 2° *et de calculer le poids approximatif des solives en* FF, F'F'.

SOLUTION. — *Charge d'une solive en bois* SS.

L'espacement des solives en bois S, S, S étant de $0^m,40$, la fraction de plancher portée par chaque solive est :

$$4^m \times 0^m,40 = 1^{m2},6.$$

Le rapport de la portée de la solive en bois à sa hauteur $0^m,25$ est :

$$\frac{4^m,00}{0^m,25} = 16.$$

Pour ce rapport la charge moyenne de flexion par centimètre

carré de la section transversale de la solive est (p. 233) de 5 kilogr.; d'où la charge totale et uniforme de la solive (calculée avec le coefficient maximum de 60 kilogr. par centimètre carré) est :

$$5 \times 10 \times 25 = 1.250 \text{ kilogr.}$$

Or chaque solive en bois repose sur les solives en fer F, F; donc chaque extrémité de solive en bois reporte sur la solive en fer F, F une charge moitié, ou 625 kilogr. ; ce qui donne pour les sept solives une charge totale de

$$P = 625 \times 7 = 4.375 \text{ kilogr.}$$

D'après ce qui est dit page 239, pour des charges isolées égales et équidistantes, la charge centrale unique P', qui, appliquée au milieu de la portée, exigerait le même équarrissage de solive, a pour valeur :

$$P' = \frac{4}{7}, \qquad P = \frac{4}{7} \times 4.375 \text{ kilogr.}$$

ou

$$P' = 2.500 \text{ kilogr.},$$

ou une charge uniforme double, de 5.000 kilogr., qui serait appliquée sur toute la solive en fer F, F.

Pour calculer le poids approximatif de cette solive en fer (double **T**) prenons, page 257, la formule :

$$\frac{pl}{F} = R \times 308 \left(\frac{h}{l}\right), \qquad (1)$$

dans laquelle on fera $pl = 5.000$ kilogr., $R = 6$ kilogr. par millimètre carré ; prenons $h = 0^m,25$ par exemple, et $l = 3^m,20$; d'où :

$$\frac{h}{l} = \frac{0^m,25}{3^m,20} = 0,078;$$

par suite (1) donnera :

$$F = 35 \text{ kilogr. environ.}$$

On cherchera dans un album d'usine un fer à plancher de $0^m,25$ de hauteur pesant environ 35 kilogr. le mètre.

Charge du plancher par mètre carré. — La fraction du plancher portée par chaque solive en bois est de :

$$4^m \times 0^m,40 = 1^m,06.$$

La charge uniforme de chaque solive est de 1.250 kilogr. Il en résulte que la charge par mètre carré de plancher est égale à :

$$\frac{1.250}{1,6} = 780 \text{ kilogr.}$$

Telle est la charge par mètre carré que peut porter le plancher, y compris le poids des solives en bois.

Solives inclinées. — Pour une solive inclinée continue reposant sur deux ou un plus grand nombre d'appuis, les réactions sur les appuis sont verticales et ont les mêmes valeurs que pour une solive horizontale. Ainsi, pour le cas de deux appuis et d'une charge uniforme (B, *fig.* 68), les réactions sont :

$$q_1 = q_2 = \frac{pl}{2}. \qquad (1)$$

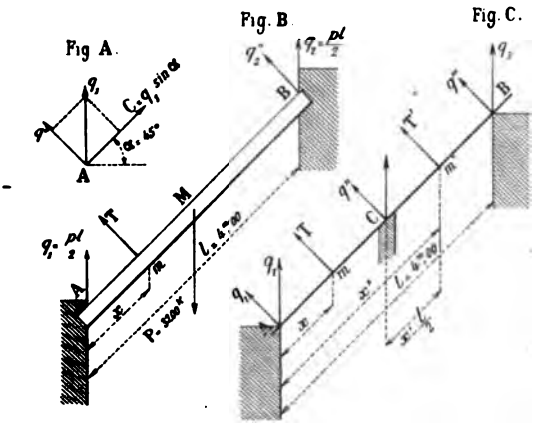


Fig. 68.

Le moment fléchissant en une section m normale à la poutre a pour expression :

$$M = \frac{pl}{2}\cos\alpha - \frac{px^2}{2}\cos\alpha,$$

les distances x étant mesurées obliquement.

Ce moment est nul aux extrémités pour $x = 0$ et $x = l$.

Au milieu de la portée l, il est maximum et a pour valeur :

$$M = \frac{pl^2}{8}\cos\alpha. \qquad (2)$$

L'effort tranchant dans une section m normale à la poutre AB a pour expression :

$$T = \frac{pl}{2}\cos\alpha - px\cos\alpha. \qquad (3)$$

Cet effort est nul au milieu de la portée et est maximum aux

extrémités pour lesquelles il a pour valeur :

$$T = \pm \frac{pl}{2} \cos \alpha. \qquad (4)$$

Cet effort est positif en A et négatif en B.

La réaction q_1 en A (voir détail A) se décompose en une réaction normale q' positive et en une compression longitudinale C sur la section transversale de la solive en A. On a :

$$q' = q_1 \cos \alpha = \frac{pl}{2} \cos \alpha,$$

$$c = q_1 \sin \alpha = \frac{pl}{2} \sin \alpha.$$

Pour une section normale en m, la composante longitudinale est diminuée de l'action de la pesanteur, de sorte que cette compression a pour expression :

$$c' = \frac{pl}{2} \sin \alpha - px \sin \alpha.$$

Elle est maximum pour $x = 0$ et $x = l$; elle est nulle au milieu de la portée pour $x = \frac{l}{2}$.

En A, la composante longitudinale est une compression et, en B, elle est une extension.

La flèche normale de la solive a pour expression :

$$f = \frac{5}{384} \cdot \frac{pl^4}{EI} \cos \alpha. \qquad (4)$$

Ainsi les expressions (2), (3), (4) sont les mêmes que pour une solive ou une poutre horizontale portant des charges verticales, sauf le facteur cos α. Il en est de même pour une solive continue reposant sur un nombre quelconque d'appuis, c'est-à-dire qu'on obtiendra les moments fléchissants sur les appuis d'une pièce ou solive inclinée continue, en multipliant par cos α les valeurs données au tableau (p. 242). Quant aux réactions sur les appuis, elles restent les mêmes et verticales, que les pièces soient inclinées ou horizontales.

Nota. — Une solive inclinée n'exerce pas de poussée horizontale sur ses appuis, à la condition qu'elle ne peut glisser. En général, le frottement s'oppose à ce glissement; s'il n'en était pas ainsi, il faudrait fixer la solive pour l'empêcher de glisser.

Premier exemple. — *Une poutre inclinée à 45° en sapin fort de 4 mètres de long porte en son milieu une charge isolée de* 3.200 *kilogr.* (*fig.* B, p. 285). *Calculer son équarrissage.*

SOLUTION. — Appliquons la formule :

$$\frac{Pl}{4}\cos\alpha = R\left(\frac{I}{n}\right). \qquad (1)$$

On a : $P = 3.200$ kilogr., $l = 4$ mètres et $\cos 45^\circ = 0,707$.
Prenons le coefficient de sécurité :

$$R = 500.000 \text{ kilogr.}$$

par mètre carré ou 50 kilogr. par centimètre carré.
La relation (1) donne :

$$32.000 \times 0.707 = 500.000\,\frac{I}{n}. \qquad (2)$$

La section de la poutre étant rectangulaire, le module de section a pour expression (b et h étant la base et la hauteur de la poutre) :

$$\frac{I}{n} = \frac{bh^2}{6},$$

et, en prenant $b = \frac{3}{4}h$, il vient :

$$\frac{I}{n} = \frac{3}{4}h\,\frac{h^2}{6} = \frac{1}{8}h^3;$$

par suite, la relation (2) devient :

$$32.000 \times 0,707 = 500.000 \times \frac{h^3}{8},$$

d'où :

$$h = \sqrt[3]{0,036,198} = 0^m,33$$

et

$$b = \frac{3}{4}h = 0^m,247;$$

l'équarrissage de la poutre est donc approximativement :

$$0^m,25 \times 0^m,33 = 825 \text{ centimètres carrés.}$$

L'effort de compression sur la section transversale de la poutre en A est la composante longitudinale de la réaction q_1 en A, soit :

$$C = q \sin\alpha = 1.600^{kg} \times 0,707,$$

ou

$$C = 1.130 \text{ kilogr.}$$

Il en résulte que la compression par centimètre carré de la poutre en A est :

$$\frac{1.130^{kg}}{825} = 1^{kg},3.$$

Donc le plus grand effort par centimètre carré sur les fibres les plus fatiguées est :

$$50^{kg} + 1^{kg},3 = 51^{kg},3.$$

Deuxième exemple. — *Calculer l'équarrissage d'une poutre en sapin, inclinée à 45° d'une longueur égale à 4 mètres, qui doit porter une charge uniforme de 3.200 kilogr.* (cette question ne diffère de la précédente que parce que la charge est uniforme) (*fig.* B, p. 285).

Le moment fléchissant a pour expression :

$$M = \frac{pl^2}{8} \cos \alpha = R \left(\frac{I}{n}\right).$$

Prenant $pl = 3.200$ kilogr., $l = 4$ mètres, $\cos \alpha = \frac{\sqrt{2}}{2} = 0,707$, la formule ci-dessus donne :

$$\text{(A)} \qquad M = \frac{3.200 \times 4}{8} \times 0,707 = 1.131 = R \frac{I}{n}.$$

La section de la poutre étant rectangulaire, elle a pour module de section :

$$\frac{I}{n} = \frac{bh^2}{6},$$

b et h étant la base horizontale et la hauteur de la poutre. Prenons $b = \frac{3}{4} h$, et $R = 50$ kilogr. par centimètre carré ou 500.000 kilogr. par mètre carré ; la formule (A) donne :

$$1.131 = 500.000 \times \frac{3}{6 \times 4} h^3 = \frac{500.000}{8} h^3,$$

d'où :

$$h = \sqrt[3]{\frac{1.131 \times 8}{500.000}} = 0^m,26 ;$$

par suite, $b = \frac{3}{4} h = 0^m,195$.

L'équarrissage est donc :

$$0^m,26 \times 0^m,20 = 520 \text{ centimètres carrés.}$$

On calculera, comme dans la question précédente, la compression longitudinale C de la poutre par la formule :

$$c = \frac{pl}{2} \sin \alpha = 1.600^{kg} \times 0,707 = 1.131 \text{ kilogr.}$$

La section transversale de la poutre étant égale à 520 centimètres carrés, la pression ou composante longitudinale de la poutre a pour valeur, à la base A :

$$\frac{1.131^{kg}}{520} = 2^{kg},2.$$

L'effort maximum sur les fibres les plus fatiguées est donc par centimètre carré :

$$50^{kg} + 2^{kg},2 = 52^{kg},2.$$

Troisième exemple. — **Poutre inclinée à deux travées égales, chargée uniformément.** — *Soit* (*fig.* C, p. 285) *une poutre inclinée chargée uniformément et soutenue en son milieu* C. *Sa longueur totale étant l, et p étant la charge par mètre, les réactions sur les appuis sont* :

En A et B : $$q_1 = q_3 = \frac{3}{16}\,pl,$$

En C : $$q_2 = \frac{5}{8}\,pl.$$

Les composantes normales (à AB) de ces réactions sont :
Pour les points A et B :

$$q' = \frac{3}{16}\,pl \cos\alpha,$$

et pour l'appui intermédiaire C :

$$q'' = \frac{5}{8}\,pl \cos\alpha.$$

Dans la travée AC le moment fléchissant, pour une section m, a pour expression :

$$M = \frac{3}{16}\,pl \cos\alpha x - \frac{px^2}{2},$$

qui, pour $x = \frac{l}{2}$, donne le moment fléchissant en C, savoir :

$$M = -\frac{pl^2}{32}\cos\alpha. \qquad (1)$$

Dans la seconde travée CB le moment fléchissant pour une section faite en m', a pour expression :

$$M = \frac{3}{16}\,pl \cos\alpha x' + \frac{5}{8}\,pl \cos\alpha\left(x' - \frac{l}{2}\right) - \frac{x'^2}{2},$$

qui pour $x' = \frac{l}{2}$ donne le moment fléchissant en C, savoir :

$$M = \frac{3}{16}\,\frac{pl^2}{2} - \frac{p^2}{2 \times 4} = -\frac{pl^2}{32}\cos\alpha, \qquad (2)$$

valeur identique à (1) ci-dessus.

Dans la première travée AC l'effort tranchant normal à AB, dans une section m, a pour expression :

$$T = \frac{3}{16}\,pl \cos\alpha - px \cos\alpha. \qquad (3)$$

Pour $x = 0$, cette relation donne l'effort tranchant sur l'appui A :

$$T_1 = \frac{3}{16} pl \cos \alpha. \qquad (4)$$

Pour $x = \frac{l}{2}$, la relation (3) donne l'effort tranchant sur l'appui intermédiaire C, savoir :

$$T_2 = \frac{3}{16} pl \cos \alpha - \frac{pl}{2} \cos \alpha,$$

ou

$$T_2 = -\frac{5}{16} pl \cos \alpha. \qquad (5)$$

Dans la seconde travée CB l'effort tranchant normal à CB, dans une section m', a pour expression :

$$T = \frac{3}{16} pl \cos \alpha + \frac{5}{8} pl \cos \alpha - px' \cos \alpha,$$

ou

$$T = \frac{13}{16} pl \cos \alpha - px' \cos \alpha, \qquad (6)$$

qui donne, pour $x' = \frac{l}{2} = AC$, l'effort tranchant sur l'appui intermédiaire C, savoir :

$$T_2 = +\frac{5}{16} pl \cos \alpha, \qquad (7)$$

valeur identique à celle (5) trouvée ci-dessus, sauf le signe.

Composantes longitudinales. — Dans le tronçon AC, de A en C, la composante longitudinale a pour expression (*fig.* C, p. 285) :

$$c = \frac{3}{16} pl \sin \alpha - px \cos \alpha, \qquad (8)$$

et de C en B elle est exprimée par :

$$c = \frac{13}{16} pl \sin \alpha - px' \sin \alpha. \qquad (9)$$

Les relations (8) et (9) montrent qu'en A il y a une compression égale à :

$$c = \frac{3}{16} pl \sin \alpha.$$

En C, à gauche, tout près de C, une extension :

$$E = -\frac{5}{16} pl \sin \alpha.$$

A droite de C, tout près de C, une compression :

$$c = \frac{5}{16} pl \sin \alpha.$$

Au point B, une extension

$$E = -\frac{3}{16} pl \sin \alpha.$$

C'est l'appui intermédiaire C qui est le plus chargé, c'est aussi en ce point que la composante longitudinale a la plus grande valeur, savoir :

$$c = \frac{5}{16} pl \sin \alpha.$$

Il en résulte que la section de la poutre doit être calculée pour résister à l'effort tranchant au point C et à la compression longitudinale en ce point.

Premier exemple. — *Un appentis constitué par des chevrons tels que* AB, *de 4 mètres de long, est chargé de manière que chaque chevron reçoive une charge uniforme de* 3.200 *kilogr. Chaque chevron est soulagé en son milieu par un appui* C. *On propose de calculer l'équarrissage des chevrons* (*fig.* 69).

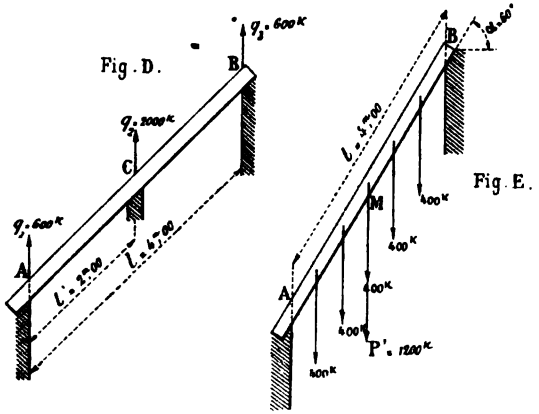


Fig. 69 et 70.

Solution. — Les charges sur les appuis sont :

En A et B (*fig.* D) :

$$q_1 = \frac{3}{16} \times 3.200^{kg} = 600 \text{ kilogr.};$$

en C :

$$q_2 = \frac{5}{8} \times 3.200^{kg} = 2.000 \text{ kilogr.}$$

Le moment maximum sur l'appui intermédiaire C a pour expression :

$$M = \frac{pl'^2}{8} \cos\alpha = \frac{1.600^{kg} \times 2}{8} \times 0{,}707,$$

ou

$$M = 282{,}8,$$

la distance l' étant la demi-longueur de AB.

La section transversale du chevron en C se calculera en écrivant :

$$M = R\left(\frac{I}{n}\right), \qquad \text{ou} \qquad 282{,}8 = R\left(\frac{I}{n}\right).$$

Prenons R = 500.000 par mètre carré et $b = \frac{3}{4}h$; il vient :

$$\frac{I}{n} = \frac{bh^2}{6} = \frac{3}{4}\frac{h.h^2}{6} = \frac{1}{8}h^3,$$

$$M = 282{,}8 = 500.000 \times \frac{1}{8}h^3,$$

d'où :

$$h = \sqrt[3]{\frac{282{,}8 \times 8}{500.000}} = 0^m{,}112 \text{ ou } 0^m{,}12,$$

d'où :

$$b = \frac{3}{4}h = 0^m{,}09.$$

L'équarrissage des chevrons $0^m{,}12 \times 0^m{,}09$ suffira.

Si l'on veut tenir compte de la compression longitudinale au point C qui est le plus chargé, en se reportant à la page 290, on écrira pour la valeur de la compression longitudinale :

$$c = \frac{3}{16}pl \sin\alpha.$$

On prendra :

$$pl = 3.200 \text{ kilogr.}, \cos\alpha; \quad \cos 45^\circ = 0{,}707,$$

d'où :

$$c = \frac{3}{16} \times 3.200 \times 0{,}707 = 424 \text{ kilogr.}$$

Or la section du chevron est :

$$S = 12 \times 9 = 108 \text{ centimètres carrés.}$$

Par suite, l'effort de compression par centimètre carré dans la section C de la poutre est :

$$\frac{424}{108} = 4 \text{ kilogr. environ.}$$

L'effort sur les fibres les plus fatiguées est donc par centimètre carré :

$$50^{kg} + 4^{kg} = 54 \text{ kilogr.}$$

Deuxième exemple. — *Un arbalétrier* AB *en bois de sapin, incliné à* 60° (*fig.* E, p. 291), *porte, sur une longueur de* 4 *mètres, cinq poids égaux de* 400 *kilogr. équidistants; calculer son équarrissage.*

Solution. — La charge totale discontinue est :

$$P = 400^{kg} \times 5 = 2.000 \text{ kilogr.}$$

En se reportant p. 239, cette charge totale discontinue de cinq poids égaux équidistants correspond à la charge centrale unique :

$$P' = \frac{3}{5} P = \frac{3}{5} \times 2.000^{kg} = 1.200 \text{ kilogr.},$$

ou à une charge double uniforme :

$$pl = 2.400 \text{ kilogr.}$$

Cela étant, on calculera le moment fléchissant par la formule :

$$M = \frac{pl^2}{8} \cos \alpha;$$

en prenant $pl = 2.400$ kilogr., $l = 4$ mètres, $\cos 60° = \frac{1}{2}$, on obtient :

$$M = \frac{2.400 \times 4}{8} \times \frac{1}{2} = R\left(\frac{I}{n}\right),$$

ou

$$M = 600 = R\left(\frac{I}{n}\right). \qquad (B)$$

Prenons $R = 60$ kilogr. par centimètre carré.

Pour la section rectangulaire de la poutre, le module de section a pour expression $\left(\textit{en prenant } b = \frac{3}{4} h\right)$:

$$\frac{I}{n} = \frac{bh^2}{6} = \frac{3}{4} \frac{h.h^2}{6} = \frac{1}{8} h^3;$$

d'où la relation (B) donne :

$$600 = 600.000 \times \frac{h^3}{8},$$

$$h = \sqrt[3]{\frac{600 \times 8}{600.000}} = \sqrt[3]{0,008} = 0^m,20;$$

par suite :

$$b = \frac{3}{4} h = \frac{3}{4} \times 0^m,20 = 0^m,15.$$

L'équarrissage est donc :

$$0^m,15 \times 0^m,20 = 300 \text{ centimètres.}$$

L'effort de compression au pied A de l'arbalétrier a pour expression :

$$c = \frac{pl}{2} \sin \alpha = \frac{2.400}{2} \times 0,866 = 1.039 \text{ kilogr.};$$

la section de l'arbalétrier étant de 300 centimètres carrés, la compression de l'arbalétrier est, par centimètre carré, de

$$\frac{1.039}{300} = 3^{kg},4.$$

Il en résulte que l'effort sur les fibres les plus fatiguées de l'arbalétrier est par centimètre carré :

$$R' = 50^{kg} + 3^{kg},4 = 53^{kg},4.$$

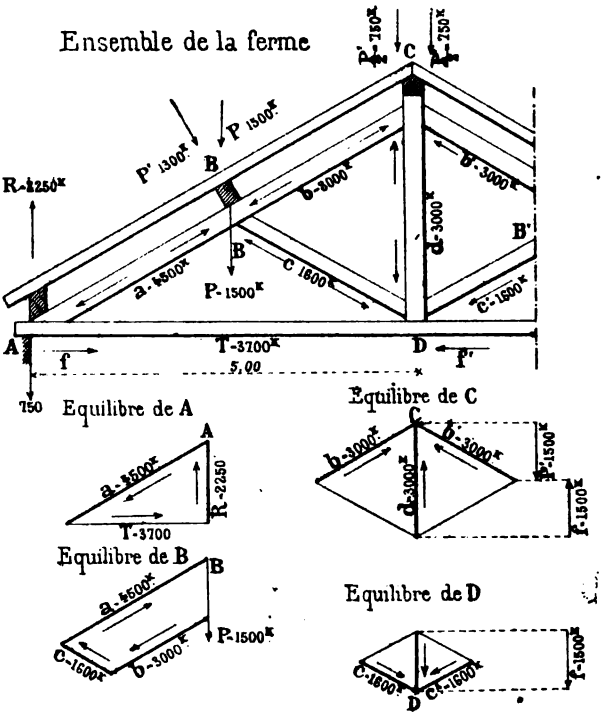


Fig. 70 *bis*.

Calcul des éléments d'une ferme en bois comprenant deux arbalétriers, un entrait, deux contre-fiches et un poinçon (*fig.* 70 *bis*). — Cette ferme ne présente aucun effort de flexion.

Admettons, pour fixer les idées, les données suivantes :

Demi-portée	AD =	5m,00
Rampant	AC =	6 ,00
Ecartement des formes		3 ,60
Charge par mètre carré de toiture, comprenant le poids de la ferme et une surcharge de neige. En tout		135kg,00

Avec ces données la charge totale de l'arbalétrier AC a pour valeur :

$$6^m \times 3^m,60 \times 135 = 2.916 \text{ kilogr.},$$

soit en nombres ronds 3.000 kilogr.

Si cette charge était transmise directement à l'arbalétrier par les chevrons, l'arbalétrier pourrait être considéré comme chargé uniformément; mais, d'après la disposition, cette charge est appliquée en A, B et C, et, pour simplifier les calculs, on admet que cette charge totale de 3.000 kilogr. se répartit également sur les deux travées AB, BC de l'arbalétrier, soit 1.500 kilogr. pour chacune, et, dans chaque travée, la charge se répartit par moitié aux deux extrémités sur les pannes; par suite, les points d'appui A, B, C, portent pour la demi-ferme :

En A	750 kilogr.
B	1.500 —
C	750 —

Effort de tension de l'entrait AD. — Il est facile de se rendre compte du sens des efforts des divers éléments de la ferme. Ainsi l'entrait AD qui s'oppose à l'écartement de la ferme supporte un effort de tension T. Si l'on supprimait cet entrait, il faudrait, pour maintenir l'écartement des arbalétriers, exercer sur le pied A un effort T de sens *f*; l'effort de traction T de l'entrait AD est donc en A de sens *f* (de gauche à droite). Du côté droit en A', symétrique de A, les conditions sont les mêmes; d'où il résulte qu'en A' l'effort de tension est de sens *f'* (de droite à gauche).

Efforts de compression de l'arbalétrier AC. — L'arbalétrier AC, recevant la charge de la panne B et celle du sommet C, tend à se comprimer entre ses deux extrémités. Il en est de même pour chacun de ses deux tronçons AB, BC. Le premier tronçon AB est soumis à un effort de compression *a* entre ses deux extrémités A et B; ce qui doit être interprété ainsi : le tronçon AB exerce en A une compression *a* dans le sens BA, et en B une compression égale et opposée, c'est-à-dire dans le sens AB. De même, le second tronçon BC de l'arbalétrier subit une compression *b* entre ses deux extrémités produisant des efforts moléculaires dont les sens sont ceux des flèches.

La contre-fiche BD subit entre ses deux extrémités un effort

de compression c qui développe dans cette pièce des efforts dont les sens sont ceux des flèches de la figure.

En résumé, au point de vue graphique, on reconnaît qu'un effort de compression d'une pièce BA sur l'extrémité A est dirigé vers ce point A; tandis qu'un effort T de tension par rapport au même point A, développé dans une pièce AM, tend à s'éloigner de A.

Ce qui vient d'être dit permettra de suivre la solution graphique que nous allons exposer.

Équilibre du point A. — La demi-ferme ACD pèse 3.000 kilogr.; il en résulte que la réaction verticale R de cette ferme sur l'appui A (sur le mur) est égale au poids de 3.000 kilogr., diminué de la charge de 750 kilogr. de la panne A, portée directement par ce mur. On a donc :

$$R = 3.000 - 750 = 2.250 \text{ kilogr.}$$

Le pied A de la ferme est soumis aux trois forces :

R = 2.250 kilogr., réaction verticale;
a, compression en A de l'arbalétrier ABC;
T, tension de l'entrait.

On exprime que ces trois forces sont en équilibre en construisant un triangle dont les côtés sont respectivement parallèles aux directions de ces forces (Voir *équilibre* de A, p. 294). Ce triangle fait connaître la tension sur l'entrait AD, savoir :

$$T = 3.700 \text{ kilogr.};$$

et la compression sur l'arbalétrier ABC au pied A, ce qui donne :

$$a = 4.500 \text{ kilogr.},$$

c'est-à-dire la compression du tronçon AB de l'arbalétrier.

Équilibre du point B. — Cette articulation est soumise à l'action de quatre forces :

Charge de la panne B.....	P = 1.500 kilogr.
Compression de AB en B.....	a = 4.500 kilogr.
Compression b de CB en B.....	inconnue
Compression c en B de la contre-fiche DB..	id.

Le diagramme du point B est un trapèze, qui fait connaître la compression c en B de la contre-fiche BD, et la compression b en B du tronçon BC de l'arbalétrier. On obtient ainsi :

$$c = 1.600 \text{ kilogr.}$$
$$b = 3.000 \quad —$$

On peut remarquer que le trapèze se ferme de lui-même en parcourant ses côtés dans le sens des flèches, ce qui indique que le point B est en équilibre. De plus, les flèches permettent de vérifier que c et b sont des efforts de compression.

Dans les diagrammes les efforts de compression sont marqués en traits forts, tandis que les efforts de tension et les charges verticales sont en traits fins.

Équilibre du sommet C *de la ferme et vérification des diagrammes.* — Le sommet C de la ferme est en équilibre sous l'action des forces :

La charge totale du sommet.....	= 1.500 kilogr.
Les deux compressions des deux arbalétriers.	$b = b' = 3.000$
L'effort d de compression en C du poinçon DC.	inconnu.

Les deux composantes $b = b' = 3.000$ kilogr. donnent une résultante :

$$d = 3.000 \text{ kilogr.},$$

dirigée de bas en haut, comme les compressions b et b'. Si l'on retranche de cette composante la charge 1.500 kilogr. du sommet dirigée de haut en bas, il reste pour le poinçon une compression $f = 1.500$ kilogr. dirigée de bas en haut.

D'autre part, l'extrémité inférieure D du poinçon reçoit les compressions $c = c' = 1.600$ kilogr. des contre-fiches BD, B'D, qui se composent en une seule résultante $f = 1.500$ kilogr., dirigée de haut en bas, comme les composantes c et c' ; or cette résultante est justement égale et opposée à la compression f du poinçon au sommet C, calculée ci-dessus. Le poinçon CD est donc soumis à une compression de 1.500 kilogr. entre ses deux extrémités.

Calcul des sections. — Le tronçon AB de l'arbalétrier supporte le plus grand effort de 4.500 kilogr.; la longueur de l'arbalétrier est de 6 mètres; si l'on prend pour l'arbalétrier un équarrissage de $0^m,20$ de hauteur sur $0^m,15$ de base (horizontale), la section correspondante sera de 300 centimètres carrés. D'autre part, le rapport de la longueur 6 mètres au plus petit côté $0^m,15$ de la section est 40 : or pour ce rapport le tableau (p. 224) apprend que cette pièce de bois peut porter $17^{kg},6$ par centimètre carré, il en résulte que la charge totale pourrait s'élever à $17,6 \times 300 = 5.280$ kilogr. > 4.500 kilogr. ; la section adoptée est donc plus que suffisante. On peut d'ailleurs remarquer que l'arbalétrier est maintenu au milieu de sa longueur par sa liaison avec la contre-fiche BD ; on est donc assuré qu'il présente un grand excès de résistance. Cependant il est nécessaire de calculer largement les sections avec le bois pour tenir compte des assemblages.

On procédera de la même manière pour calculer la section de la contre-fiche BD, qui supporte aussi un effort de compression ; mais on sera conduit à lui donner un équarrissage en rapport avec celui de l'arbalétrier.

Section de l'entrait AD. — Cette pièce supporte un effort d'extension de 3.700 kilogr. En adoptant un effort de 40 kilogr.

par centimètre carré, une section de 90 centimètres carrés serait suffisante. On pourrait donc prendre deux moises de $0^m,15 \times 0^m,06$ chacune, formant une section totale de $15 \times 6 \times 2 = 180$ centimètres carrés et présentant une résistance double de celle nécessaire. On pourrait aussi remplacer l'entrait par un tirant en fer dont on calculerait la section à raison d'un effort de traction de 5 kilogr. par millimètre carré, par exemple. Un diamètre de $0^m,031$ suffirait.

Section des pannes B *et* C. — Ces pièces sont soumises à la flexion. Elles portent chacune une charge uniforme résultant du poids de la couverture et de la surcharge de neige et de vent, cette charge ne comprenant pas le poids de la charpente. Mais, pour simplifier les calculs, on applique aux pannes la charge totale qui, dans l'exemple actuel, est de 135 kilogr. par mètre carré de couverture. En se reportant aux données, chaque panne porte une charge uniforme de 1.500 kilogr. ; à la rigueur, la charge fléchissante doit être réduite, puisqu'à cause de l'inclinaison du comble c'est seulement la composante normale de cette charge qui produit la flexion de la panne. Cette composante a pour valeur, en appelant α l'inclinaison de l'arbalétrier (*fig.* 70 *bis*) :

$$P' = P \cos \alpha = 1.300 \text{ kilogr.}$$

C'est d'après cette charge uniforme de 1.300 kilogr. que l'on calculera la section de la panne B au moyen de la formule :

$$\frac{pL^2}{8} = R \frac{I}{n}.$$

En faisant $pL = 1.300$ kilogr., $L = 3^m,60$, $R = 600.000$ ou 60 kilogr. par centimètre carré, on obtient :

$$\frac{I}{n} = 0,000975 = \frac{bh^2}{6}.$$

Souvent les pannes ont des sections carrées, et, en prenant un équarrissage $b^2 = 0^m,18 \times 0^m,18$, on aurait :

$$\frac{I}{n} = \frac{bh^2}{6} = \frac{b^3}{6} = 0,000972.$$

Ainsi la section est suffisante. La panne C du sommet, soumise à la charge fléchissante 1.500 kilogr., doit être un peu plus forte que B.

Nous plaçons ici le calcul des poutres armées qui sont, pour ainsi dire, des fermes renversées recevant la charge sur l'élément horizontal qui est l'entrait dans une ferme et qui devient l'élément portant dans la poutre armée.

Calcul d'une poutre armée en bois. — On peut augmenter dans une forte proportion la résistance d'une poutre au moyen d'un

dispositif connu sous le nom de poutre armée. Une première disposition consiste à appliquer verticalement une bielle au milieu de la portée et à réunir l'extrémité inférieure de cette bielle aux extrémités A et B de la poutre au moyen de tirants en fer. On fait aussi usage d'une disposition qui consiste à adopter deux poinçons ou deux bielles et un système de tirants en fer reliant ces deux poinçons aux deux extrémités de la poutre (p. 302). Ces dispositions peuvent rendre de véritables services pour de grandes portées et notamment lorsque des charges considérables conduiraient à de très forts équarrissages, comme cela se présente pour des ateliers et des hangars.

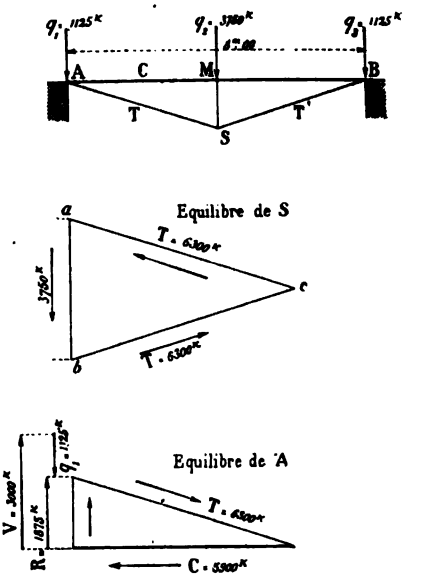


Fig. 71 à 73.

Premier exemple. — *Poutre armée en bois à une seule contre-fiche ou une seule bielle.* — Soit une poutre en bois de sapin de 8 mètres de portée devant recevoir (y compris le poids de la poutre) une charge totale et uniforme évaluée à 6.000 kilogr.

On se propose de renforcer cette poutre au moyen d'une contre-fiche et de deux tirants en fer et de calculer les sections des divers éléments de ce système (*section de la poutre en bois et diamètres des tirants en fer*).

Solution. — D'après la disposition adoptée, on peut considérer la poutre AB comme exerçant des réactions en A et B et au milieu C de la portée. L'appui C porte les 5/8 de la charge totale, soit :

$$P = \frac{5}{8} \times 6.000 = 3.750 \text{ kilogr.},$$

et chacun des appuis A et B les 3/16 de 6.000 kilogr., ou 1.125 kilogr.

Nous rappelons que, pour qu'il en soit ainsi, il faut que sous la charge les trois points A, M, B, de la poutre soient en ligne droite.

Pour déterminer les efforts que supportent les éléments du

système, il suffit d'étudier l'équilibre du sommet S et de l'appui A.

Équilibre du sommet S. — Ce point est soumis à l'action de trois forces : 1° la charge verticale P = 3.750 kilogr., et les deux tensions T et T' des tirants AS, SB (*fig.* 71). Construisons (*fig.* 72) le triangle *abc*, en prenant la verticale *ab* = 3.750 kilogr., et traçons des parallèles aux directions des tirants (*fig.* 71). On forme ainsi le triangle *abc* qui fait connaître les tensions sur les tirants :

$$T = T' = 6.300 \text{ kilogr.}$$

Équilibre de l'appui A. — Ce point est soumis à l'action de quatre forces :

1° La réaction verticale V de bas en haut égale à la moitié de la charge totale 6.000 kilogr. de la poutre, soit :

$$V = 3.000 \text{ kilogr.}$$

2° La charge verticale de haut en bas $q_1 = 1.125$ kilogr., provenant de la répartition des charges de la poutre sur ses trois appuis A, M, S ;

3° La tension T du tirant AS, déterminée par le diagramme précédent ;

4° La compression C en A de la poutre AB.

La figure *équilibre de* A, qui est le diagramme du point A, fait connaître la compression de la poutre AB :

$$C = 5.900 \text{ kilogr.}$$

Les efforts des divers éléments étant déterminés, il sera facile de calculer les sections de ces mêmes éléments.

Section de la poutre AB. — Cette pièce travaille par flexion et par compression.

Au point de vue de la flexion, on doit la considérer comme une pièce continue reposant sur trois appuis et chargée uniformément. Il en résulte que le moment de flexion qui est maximum au milieu M a pour valeur (l = AM *demi-portée*) :

$$M = \frac{pl'^2}{8},$$

pl = 3.000 kilogr. = charge de la travée, AM = l' = 4 mètres = 400 centimètres.

Ce qui donne :

$$M = \frac{3.000 \times 400}{8} = 150.000.$$

On détermine la section transversale de la poutre en bois au moyen de la formule :

$$M = \frac{RI}{n} = 150.000.$$

Adoptons pour le coefficient de sécurité R :

$$R = 50 \text{ kilogr. par centimètre carré}$$

(*équilibre de* S), d'où, en prenant le centimètre pour unité, on déduit :

$$\frac{I}{n} = \frac{150.000}{50} = 3.000.$$

On vérifie facilement que l'équarrissage de 30×20 présente la section suffisante.

En effet on a :

$$\frac{I}{n} = \frac{bh^2}{6} = \frac{20 \times 900}{6} = 3.000.$$

Nous avons adopté un coefficient de travail peu élevé (50 kilogr. par centimètre carré), par la raison qu'il faut tenir compte de la compression 5.900 kilogr. de la poutre AB sur sa section transversale, savoir :

$$30 \times 20 = 600 \text{ centimètres carrés.}$$

De ce chef, l'effort sur la section transversale de la poutre AB est par centimètre carré :

$$\frac{5.900}{600} = 10 \text{ kilogr. environ.}$$

L'effort maximum total de compression dans la section transversale de la poutre en A est donc :

$$R = 50 \times 10 = 60 \text{ kilogr.}$$

par centimètre carré. C'est un taux qu'il ne faut guère dépasser pour du bois de sapin de bonne qualité.

Poinçon MS. — Il supporte la compression 3.750 kilogr.

Section des tirants en fer. — On a trouvé pour l'effort de traction des tirants :

$$T' = T^1 = 6.300 \text{ kilogr.}$$

En adoptant 5 kilogr. pour l'effort de traction par millimètre carré du tirant, il faudra lui donner une section de :

$$\frac{6.300}{5} = 1.260 \text{ millimètres carrés,}$$

c'est-à-dire un diamètre de 40 millimètres dans l'hypothèse d'un seul tirant.

S'il y a deux tirants, leur section totale devra être de 1.260 millimètres carrés, soit pour chacun 630 millimètres carrés ; ce qui exige un diamètre de 29 millimètres.

On pourrait remplacer la poutre unique de $0^m,30 \times 0^m,20$ par deux madriers de $0^m,20 \times 0^m,16$, boulonnés ensemble et armés comme il a été dit pour la poutre unique.

Comparaison de la poutre armée et de la poutre non armée. — Le calcul apprend que sans aucune armature la poutre de $0^m,30 \times 0^m,20$ peut porter environ la charge de 1.840 kilogr. (calculée avec le coefficient de 60 kilogr. par centimètre carré), tandis que la poutre armée, calculée ci-dessus, peut porter 6.000 kilogr. Ainsi la résistance a plus que triplé ; mais il faut tenir compte que les accessoires métalliques sont dispendieux.

Calcul d'une poutre armée en fer laminé à deux poinçons. — *Des poutres armées en fer à double* T, *distantes de 3 mètres, ont* $6^m,50$ *de portée. Elles reçoivent, au tiers de leur longueur, en* C *et* D, *des charges isolées de* 1.200 *kilogr. Elles font partie d'un plancher général qui reçoit une charge de* 400 *kilogr. par mètre carré. On se propose de calculer la section de ces poutres, ainsi que celle des tirants en fer rond qui en constituent l'armature.*

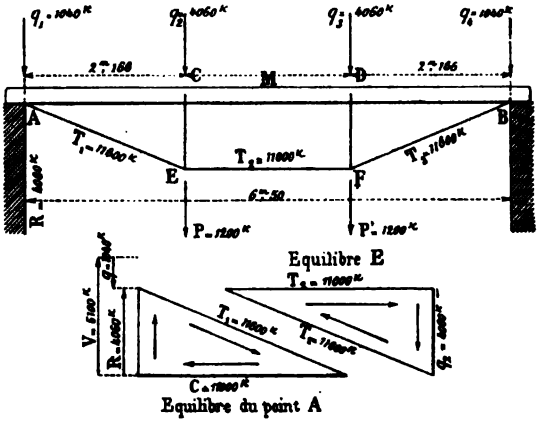


Fig. 74.

D'après les données chaque poutre reçoit du plancher une charge uniforme de :

$$6^m,50 \times 3^m \times 400^{kg} = 7.800 \text{ kilogr.}$$

Il faut exprimer que, sous l'action de cette charge uniforme et des deux charges isolées P et P', les quatre points A, C, D, B seront en ligne droite après le montage. On est ainsi conduit à considérer cette poutre comme s'appuyant aux points A, C, D, B, c'est-à-dire à admettre que les deux points C, D sont soutenus par l'armature. Le montage doit donc être fait de manière que la

condition des quatre points A, C, D, B en ligne droite soit satisfaite. En admettant cette condition remplie, la charge uniforme pl de la poutre se répartit ainsi sur les quatre appuis (divisant la portée en trois parties égales) de la manière suivante :

En A :	$\frac{2}{15}pl = \frac{2}{15} \times 7.800 =$	1.040 kilogr.
En C :	$\frac{11}{30}pl = \frac{11}{30} \times 7.800 =$	2.860 —
En D :	$=$	2.860 —
En B :	$=$	1.040 —
	Charge uniforme $=$	7.800 kilogr.,

ce qui fait $\frac{7.800}{6^m,5} = 1.200$ kilogr. par mètre courant de la poutre AB.

En tenant compte des charges isolées P et P', appliquées en C et D, les charges totales sur les quatre appuis sont :

En A :	$q_1 =$	1.040 kilogr.
En C :	$2.860 + 1.200 =$	4.060 —
En D :	$=$	4.060 —
En B :	$=$	1.040 —
	Charge totale $=$	10.200 kilogr.

dont la moitié, ou 5.100 kilogr., est la charge des murs en A et B (*fig.* 74).

Cela étant, il est facile de déterminer graphiquement les tensions sur les tirants AE, FB, et l'effort de compression sur la poutre AB. A cet effet, cherchons successivement l'équilibre de l'appui A et de l'articulation E.

Le point A est en équilibre : 1° sous l'action de la réaction du mur (de bas en haut), soit $V = 5.100$ kilogr. ; 2° de la charge $q_1 = 1.040$ kilogr., de haut en bas ; ces deux forces donnent la résultante $R = 4.060$ kilogr., dirigée de bas en haut ; 3° de la tension T_1 du tirant AE ; 4° de la compression c, que la poutre AB supporte en A. Le diagramme (A) résume l'équilibre du point A et donne l'effort de tension :

$$T_1 = 11.600 \text{ kilogr.},$$

que supporte le tirant AE, et la compression :

$$c = 11.000 \text{ kilogr.},$$

que subit en A la poutre AB.

Le diagramme du point E qui est soumis : 1° à l'action des forces q_2 ; 2° de la force de traction T_1 ; 3° de la traction T_2 du tirant horizontal EF. Ce diagramme donne la valeur :

$$T_2 = 11.000 \text{ kilogr.}$$

Cet effort, sauf le sens, est égal numériquement à la compression horizontale c de la poutre AB.

A cause de la symétrie, le diagramme du sommet F serait le même que celui du point E et donnerait l'effort de traction du tirant FB, savoir :

$$T_3 = T_1 = 11.600 \text{ kilogr.}$$

Comme on le voit, les efforts de tension sont considérables, malgré la grande hauteur des bielles CE, DF ; on peut se rendre facilement compte que ces efforts augmentent rapidement à mesure que lesdites bielles sont plus courtes. Ordinairement, il existe deux cours de tirants AEFB par poutre, afin de réduire à moitié les efforts de traction sur les tirants. C'est ce que nous admettrons dans le cas actuel pour le calcul des sections de ces tirants en fer.

Calcul des sections. — *Tirants* AE *et* EF. — Les efforts T_1 et T_2 sont peu différents; calculons la section des tirants AE pour lesquels

$$T_1 = 11.600 \text{ kilogr.},$$

soit la moitié ou 5.800 kilogr. pour un seul tirant AE, puisque nous admettons un cours de tirants placés sur chacune des faces de la poutre.

En prenant le coefficient de sécurité égal à 6 kilogr. par millimètre carré, ce tirant en fer devra présenter la section de

$$\frac{5.800}{6} = 966 \text{ millimètres carrés},$$

ce qui exige un diamètre de 36 millimètres. On peut appliquer ce diamètre aux tirants horizontaux EF.

Poutre horizontale AB. — Cette pièce supporte l'effort de compression calculé ci-dessus, savoir :

$$c = 11.000 \text{ kilogr.}$$

et, d'autre part, des efforts de flexion dus à la charge uniforme de 7.800 kilogr. du plancher. Les charges P et P' n'influent pas sur la flexion de la poutre et compriment seulement les bielles CE, DF.

En prenant le moment fléchissant par rapport au point C, on a :

$$M = q_1 \times AC - \frac{p}{2} \times \overline{AC}^2,$$

$$q_1 = 1.040 \text{ kilogr.},$$

$$AC = \frac{6^m,50}{3} = 2^m,166,$$

$$p = 1.200 \text{ kilogr. par mètre courant},$$

ce qui donne :

$$M = 562 \text{ environ.}$$

Le moment fléchissant par rapport au point D a la même valeur numérique qu'au point C. C'est d'après cette valeur qu'il faut calculer la section de la poutre de manière que cette dernière puisse résister à la flexion, en tenant compte de l'effort de compression $c = 11.000$ kilogr., calculé ci-dessus.

Il faut procéder par tâtonnement. Adoptons un fer de $0^m,20$ de hauteur, petites ailes, pesant 22 kilogr. le mètre et dont le profil donne le module de section (voir p. 216, *Montataire*) :

$$\frac{I}{n} = 0,000153.$$

Écrivons la valeur du moment fléchissant M :

$$M = R\frac{I}{n} = 562\,;$$

d'où :

$$R = \frac{562}{0,000153} = 3^{kg},65 \text{ par millimètre carré.}$$

D'autre part, la section de ce fer est, en prenant 7.800 kilogr. pour le poids de 1 mètre cube de fer :

$$\frac{22^{kg}}{7.800^{kg}}\ 2.820 \text{ millimètres carrés.}$$

L'effort de compression étant pour la poutre considérée AB (diagramme A, p. 302).

$$c = 11.000 \text{ kilogr.},$$

il en résulte que l'effort de compression par millimètre carré est de :

$$\frac{11.000}{2.820} = 4 \text{ kilogr.}\,;$$

l'effort maximum sur les fibres les plus fatiguées de cette poutre sera donc :

$$3^{kg},65 + 4^{kg} = 7^{kg},75 \text{ par millimètre carré.}$$

On peut adopter ce taux ; mais il convient de ne pas le dépasser, au point de vue de la sécurité d'une construction chargée exceptionnellement.

Bielles CE *et* DF. — Chaque couple de bielles CE est soumis à une compression égale à (diagramme A, *fig.* 74) :

$$q_2 = 4.060 \text{ kilogr.},$$

soit pour chacune 2.030 kilogr. La longueur de ces bielles est d'environ $0^m,80$. Si ces bielles sont en fer, on pourra leur donner un diamètre de 32 millimètres, ce qui fournirait une section de

804 millimètres carrés. La pression par millimètre carré serait de :

$$\frac{2.030}{804} = 2^{kg},5 \text{ environ.}$$

Calcul d'une poutre armée en bois à trois poinçons. — La poutre AB de 4 mètres de portée repose librement par ses extrémités sur les appuis A et B. Cette poutre est armée au moyen des trois bielles DF, CH, EG et des tirants métalliques qui établissent la rigidité de l'ensemble.

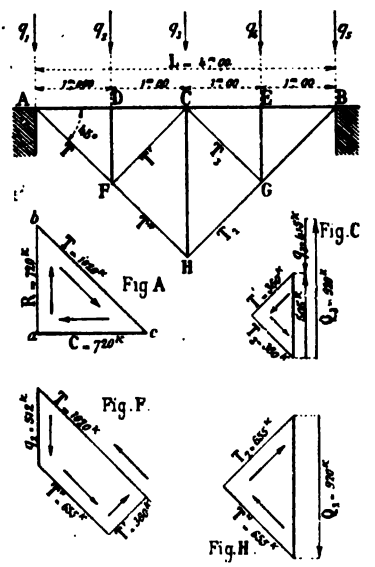


Fig. 75.

Admettons, ce qui est la disposition la plus habituelle, que la portée 4 mètres de la poutre AB soit divisée en quatre parties égales par les bielles.

En se reportant plus haut et en admettant que, la poutre AB étant chargée uniformément, les points A, D, C, E, B sont en ligne droite, on pourra appliquer les formules de la page 242. On devra, lors de la mise en place de cette poutre armée, faire en sorte que la tension des tirants réalise cette condition géométrique. Cela étant, la charge uniforme de la poutre AB, que nous supposons être de 1.792 kilogr., se répartira sur les appuis A, D, C, E, B suivant la loi numérique donnée au tableau (p. 242) ; on aura pour la portée totale L = 4 mètres et pour la charge par mètre :

$$p = \frac{1.792}{4} = 448 \text{ kilogr. ;}$$

en A et B : $q_1 = q_5 = \frac{11}{112} pL = 175$ kilogr. ;

en D, E : $q_2 = q_4 = \frac{2}{7} pL = 512$ kilogr. ;

au milieu C : $q_3 = \frac{13}{56} pL = 416$ kilogr.

En D, C, E, les charges sont transmises aux bielles qu'elles compriment. C'est au moyen de ces charges que l'on calcule les

efforts des divers éléments de cette poutre et les sections nécessaires de ces éléments.

Equilibre de l'appui A. — Cet appui est soumis à la réaction de bas en haut de la moitié du poids pL de tout le système et, en outre, il exerce de haut en bas une réaction $\frac{11}{112}$ de la charge totale.

Il en résulte que la réaction de l'appui A de bas en haut a pour valeur :

$$R = \frac{pL}{2} - \frac{11}{112} pL = \frac{45}{112} pL = 720 \text{ kilogr.}$$

Pour former le diagramme du point A (voir *fig.* A, p. 306), prenons la verticale :

$$ab = R = \frac{45}{112} pL = 720 \text{ kilogr.},$$

et achevons le triangle rectangle *abc* dont la base donne la compression en A de la poutre AB, savoir :

$$ac = C = 720 \text{ kilogr.}$$

L'hypoténuse *bc* du même triangle donne la tension du tirant oblique AF, en A, soit :

$$bc = T = 1.020 \text{ kilogr.}$$

Les bielles DF, EG sont soumises chacune à une compression (voir *fig.* F) :

$$q_2 = q_4 = \frac{2}{7} pL = 512 \text{ kilogr.}$$

D'après cela, il est facile de construire le diagramme du point F. Ce point subit l'action des forces T, T', T'' et de la charge verticale q_2 de la bielle DF. Dans le diagramme (F) ces diverses forces sont représentées par des longueurs qui leur sont proportionnelles et de même sens. Le tracé se fait en prenant la verticale $q_2 = 512$ kilogr. ; puis on trace des parallèles T et T'' aux tirants AF, FC; ensuite on prend T = 1.020 kilogr. (dans le diagramme A), et l'on achève le polygone en traçant T'' parallèle à CF. Ce tracé fait connaître la tension de FH, savoir :

$$T'' = 655 \text{ kilogr.},$$

et

$$T' = 360 \text{ kilogr.},$$

qui est la tension du tirant FC, au point F. La compression sur la bielle centrale CH, au point H, est déterminée par le diagramme de la figure H. Cette compression est la résultante Q_3 des tractions symétriques T'' et T_2 des tirants FH et HG. La figure donne :

$$Q_3 = 920 \text{ kilogr.}$$

Équilibre de C, *milieu de la poutre* AB. — Au point C il y a les deux tractions $T' = T_3$, de 360 kilogr. chacune, qui donnent une résultante 505 kilogr. ; laquelle, ajoutée à la charge verticale q_3 du point C, donne pour la compression en C de la bielle CH :

$$Q_3 = 920 \text{ kilogr.},$$

résultat identique à celui donné par le diagramme de H pour la compression de la bielle au point H ; ce qui est une vérification, puisqu'aux extrémités C et H les compressions sont égales.

Résumé :

Compressions.	Sur AB,	$C =$	720 kilogr.
	sur DF, EG,	$Q_2 = Q_4 =$	510 —
	sur CH,	$Q_3 =$	920 —
Tensions....	sur AF, BG,	$T =$	1.020 kilogr.
	sur FH, HG,	$T'' =$	655 —
	sur CF, CG,	$T' =$	360 —

Dimensions des éléments de la poutre armée (en bois). — *Poutre en bois* AB. — En se reportant au tableau (p. 242), le moment fléchissant est maximum sur les appuis D, E ; il a pour valeur :

$$M = -\frac{3}{448} pL^2 = -\frac{3}{28} pl^2,$$

L étant la longueur de la poutre, et l chacune des quatre travées égales.

Pour le point C on a :

$$M = -\frac{2}{28} pl^2.$$

Avec les données :

$$l = 1 \text{ mètre} \qquad \text{et} \qquad p = 448 \text{ kilogr.}$$

on obtient, au point D, la valeur numérique :

$$M = \frac{3}{28} \times 448 \times 1 = 48. \qquad (1)$$

On calculera la section rectangulaire de la poutre, en écrivant :

$$M = R \frac{I}{n}. \qquad (2)$$

Prenons seulement R = 400.000 kilogr. par mètre carré, afin de laisser une certaine marge pour l'effort de compression longitudinale.

Le module de section d'un rectangle a pour expression :

$$\frac{I}{n} = \frac{bh^2}{6},$$

prenons :

$$b = \frac{3}{4} h$$

(*b et h étant la base et la hauteur du rectangle*), d'où :

$$\frac{I}{n} = \frac{1}{6} \times \frac{3}{4} h^3 = \frac{1}{8} h^3.$$

Par suite, les relations (1) et (2) donneront :

$$48 = 400.000 \times \frac{1}{8} h^3;$$

d'où :

$$h = \sqrt[3]{\frac{48 \times 8}{400.000}} = \sqrt[3]{0,000960},$$

ou

$$h = 0^m,0987.$$

En nombre rond, prenons :

$$h = 0^m,10 \quad , \quad \text{et} \quad b = \frac{3}{4} \times 0^m,10 \times 0^m,075 ;$$

l'équarrissage de la poutre est donc :

$$0^m,10 \times 0^m,075.$$

Nota. — On peut remarquer que le calcul donne un équarrissage très faible ; mais il est facile de contrôler approximativement les calculs précédents de la manière suivante :

Si la poutre, au lieu d'être continue, était remplacée par quatre madriers simplement posés bout à bout sur des appuis A, D, C, E, B, chaque tronçon aurait 1 mètre de portée.

La section de la solive étant $10 \times 7,5 = 75$ centimètres carrés, et le rapport de la portée de chaque tronçon à la hauteur verticale de la solive étant :

$$\frac{1^m,00}{0^m,10} = 10,$$

on déduit, pour ce rapport, la charge moyenne de flexion par centimètre carré (*calculée avec le coefficient 40 kilogr. par centimètre carré*) (p. 233) égale à $5^{kg},33$. Par suite, la charge de chaque tronçon de 1 mètre de portée serait :

$$5^{kg},33 \times 75^{cm2} = 400 \text{ kilogr.}$$

Or, d'après l'énoncé, la charge uniforme de la solive est de 448 kilogr. par mètre.

La différence 48 kilogr. résulte seulement de ce que, dans la solive continue, les deux travées moyennes sont plus chargées que les deux travées extrêmes.

Le coefficient de travail de la solive en bois par rapport à la

flexion a été pris égal seulement à 40 kilogr. par centimètre carré; mais il faut y ajouter l'effort dû à la compression longitudinale de la solive.

On a trouvé pour cet effort :

$$C = 720 \text{ kilogr.}$$

La section de la solive étant de 75 centimètres carrés, cela donne par centimètre carré pour la compression :

$$\frac{720}{75} = 9^{kg},6.$$

Donc l'effort maximum total des fibres les plus fatiguées de la solive est par centimètre carré :

$$40^{kg} + 9^{kg},6 = 49^{kg},6.$$

Section des bielles DF, EG, CH. — Pour chacune des deux premières, la compression est de 512 kilogr. En adoptant une bielle cylindrique en fer de 20 millimètres de diamètre, elle présenterait une section de 314 millimètres carrés. Or, pour avoir égard à la longueur de 1 mètre de cette bielle DF, on prendra le rapport de la longueur 1 mètre au diamètre $0^m,02$, ce qui donne :

$$\frac{1^m,00}{0^m,02} = 50.$$

Pour ce rapport 50, le tableau (p. 251) apprend que la charge par centimètre carré, calculée avec le coefficient de sécurité 1/7, est, pour le solide encastré, de 182 kilogr. ou de $1^{kg},82$ par millimètre carré. D'autre part, la section d'un cercle de 20 millimètres de diamètre étant de 314 millimètres carrés, la charge correspondante serait :

$$1^{kg},82 \times 314 = 571 \text{ kilogr.},$$

résultat un peu plus grand que l'effort 512 kilogr.

On peut donc adopter une bielle en fer de 20 millimètres de diamètre.

Bielle centrale CH. — Cette bielle supporte une compression $Q_3 = 920$ kilogr. ; sa longueur = 2 mètres. Adoptons un diamètre de 33 millimètres; ce qui correspond à une section de 855 millimètres carrés. Le rapport de la longueur 2 mètres de cette bielle à son diamètre $0^m,033$ est de 60 environ. Pour ce rapport, le tableau (p. 251) donne (*avec le coefficient* 1/7), pour la charge par centimètre carré, 141 kilogr., ou $1^{kg},41$ par millimètre carré ; d'où la charge de la bielle considérée peut s'élever à :

$$1^{kg},41 \times 855 = 1.200 \text{ kilogr.}$$

Ainsi la section est plus que suffisante.

Sections des tirants AF, BG *supportant chacun un effort de* 1.018 *kilogr.* — Adoptons un coefficient de 5 kilogr. par milli-

mètre carré ; ce qui nous conduit à adopter une section de :

$$\frac{1.018}{5} = 204 \text{ millimètres carrés}$$

ou un diamètre de 17 millimètres.

Sections des tirants FH, HG, *supportant chacun une traction de* 655 *kilogr.* — Avec le coefficient 5 kilogr. par millimètre carré, la section nécessaire sera de :

$$\frac{656}{5} = 131 \text{ millimètres carrés.}$$

ou un diamètre de 13 millimètres.

Les tirants CF, CG supportant chacun une traction de 360 kilogr., leur diamètre peut être plus faible que le diamètre calculé ci-dessus.

Nota *concernant les attaches des éléments métalliques se réunissant à la poutre en bois* AB. — A cause du faible équarrissage de la poutre, les tirants devront être réunis à la poutre au moyen d'étriers embrassant fortement cette poutre, afin d'éviter d'y pratiquer des trous ou des entailles qui l'affaibliraient.

Calcul d'une poutre latice. — Le profil de la poutre (coupe MN) ainsi que la disposition générale montrent que le système de construction comprend : 1° quatre fers cornières rivés sur des tôles verticales de (12 × 8) millimètres ; 2° des montants verticaux ; 3° des liens inclinés ou croisillons à 45°.

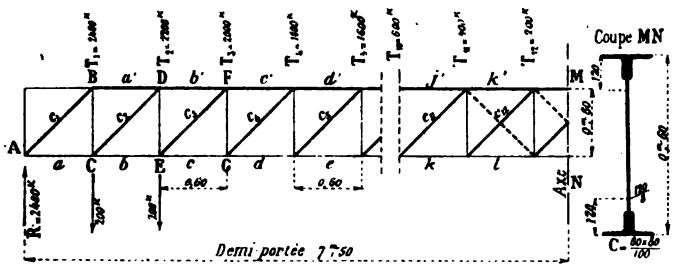


Fig. 76.

La portée de la poutre est de 15 mètres et sa hauteur de 0m,60. La charge totale et uniforme, comprenant la surcharge, est de 5.000 kilogr.

Calcul de la poutre, à la flexion. — En faisant abstraction des liens verticaux et inclinés, la section transversale de la poutre se réduit à celle de quatre cornières, en négligeant les deux tôles verticales de (12 × 8) millimètres sur lesquelles sont rivées les cornières.

Après quelques tâtonnements, nous avons trouvé que l'on peut adopter des cornières de $\frac{80 \times 80}{10}$ (millimètres), qui donnent :

$$\frac{I}{n} = 0{,}00153.$$

En effet la formule bien connue :

$$\frac{pl^2}{8} = R\frac{I}{n}$$

donne, en faisant $pl = 5.000$ kilogr., $l = 15$ mètres, et $R = 6$ kilogr. par millimètre carré :

$$\frac{I}{n} = 0{,}00156.$$

On peut donc adopter des cornières de $\frac{80 \times 80}{10}$; ce qui porte le coefficient de sécurité à $6^{kg},1$ par millimètre carré.

Calcul de la poutre considérée comme système articulé. — Dimensions des liens verticaux et inclinés. — La charge totale de la poutre est de 5.000 kilogr. Cette poutre comprend 25 panneaux

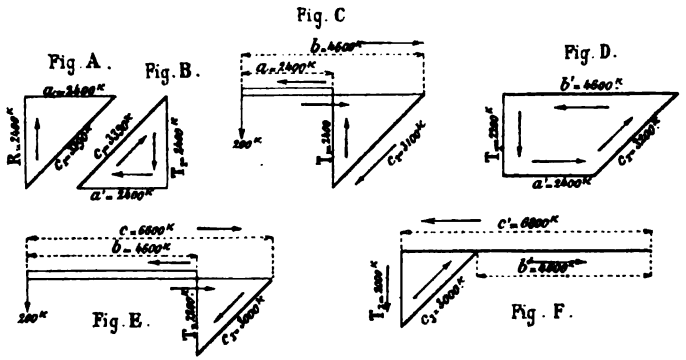


Fig. 77.

carrés égaux qui pèsent chacun 200 kilogr. Il en résulte qu'en chaque point d'attache C, E, G, etc., à la partie inférieure de la poutre, la charge verticale est de 200 kilogr. (voir la disposition générale, *fig.* 76).

Pour déterminer les efforts sur les barres verticales et les liens inclinés, il suffit d'écrire l'équilibre pour chaque point d'articulation, A, B, C, D, E...

Nous donnons seulement en détail (*fig.* 77, A, B, C, D, ...) les diagrammes des points A, B, C, ..., par la raison que, pour les articulations suivantes, les diagrammes sont analogues, et que

d'ailleurs tous ces diagrammes sont compris dans le diagramme général (*fig.* 78, p. 314).

Nous ferons remarquer que, dans la figure A (p. 312), qui se rapporte à l'équilibre de l'articulation A, la réaction R = 2.400 kilogr. est égale au poids de la demi-ferme (2.500 kilogr.), diminué de la charge verticale (100 kilogr.) du demi-panneau AC (*disposition générale*, *fig.* 76).

La figure B est le diagramme du point B. Enfin les figures C et D sont les diagrammes des points C et D (*disposition générale*).

Le diagramme général (au bas de la p. 314) résume et contient les diagrammes de tous les points A, B, C, D, E, etc.

On peut observer que tous les liens obliques AB, CD, etc., et les cornières horizontales supérieures, formant la membrure supérieure, supportent des efforts de compression. Tous les liens verticaux et les cornières horizontales inférieures sont soumis à des efforts d'extension.

De plus, les efforts de compression des liens à 45° et les efforts d'extension des liens verticaux diminuent vers le milieu de la poutre.

Calcul des sections. — Montants verticaux. — Le plus grand effort de tension, qui s'exerce sur CB est $T_1 = 2.400$ kilogr. (*fig.* B). En adoptant un effort de 5 kilogr. par millimètre carré, ce montant vertical CB doit présenter une section de $\frac{2.400}{5} = 480$ millimètres carrés, c'est-à-dire (60×8) millimètres. On pourra diminuer les sections des autres montants.

On verra ci-après que le second système de croisillons fait supporter aux montants verticaux des efforts de compression; d'où il résulte qu'il est plus rationnel de calculer ces montants à la compression.

Ainsi le sixième montant supportant une traction $T_6 = 1.400$ kilogr., sa section pourra se réduire à $\frac{1.600}{5} = 320$ millimètres carrés. Vers le centre, la section pourrait être encore plus réduite.

Cependant des nécessités d'assemblage obligent à ne pas descendre au-dessous d'un certain minimum.

Barres obliques. — Le plus grand effort de compression sur les barres obliques est (*fig.* B, p. 312) :

$$C_4 = 3.390 \text{ kilogr.}$$

En adoptant un effort de 5 kilogr. par millimètre carré, il faudrait une section de :

$$\frac{3.390}{5} = 680 \text{ millimètres carrés.}$$

On pourra donc adopter un fer cornière de 50 × 8, qui donne une section de 736 millimètres carrés. Vers le centre, les liens inclinés pourront être réduits.

Pour de grands efforts, les liens inclinés se font en fer à simple **T** ou en **U**.

Tables ou semelles. — Le plus grand effort horizontal sur les semelles est (voir le diagramme général au bas de la page, *fig.* 78) :

$$l = 15.300 \text{ kilogr.}$$

Cet effort est supporté par deux cornières et une tôle verticale de 120 × 8 = 960 millimètres carrés. Les deux cornières 89 × 8 × 10 donnent la section totale :

$$150 \times 10 \times 2 = 3.000 \text{ millimètres carrés,}$$

en y ajoutant la section de la tôle verticale, on obtient :

$$3.000 + 960 = 3.960 \text{ millimètres carrés,}$$

d'où il résulte que l'effort par millimètre carré, sur les membrures horizontales supérieure et inférieure de la poutre est de :

$$\frac{15.300}{3.960} = 4 \text{ kilogr.}$$

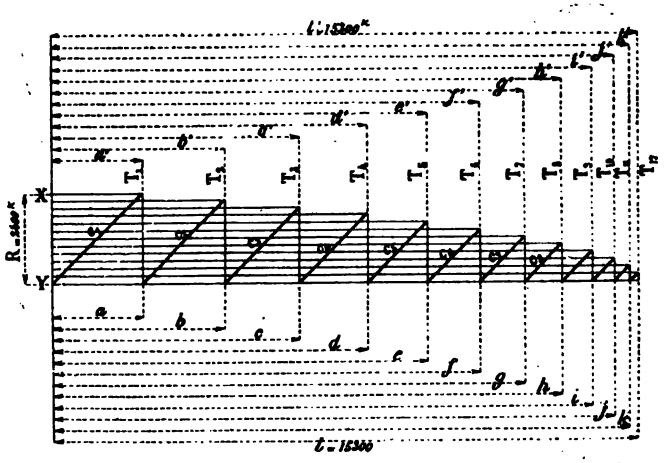


Fig. 78.

Dans ce qui précède on a tenu compte seulement des croisillons montants qui supportent des efforts de compression. Mais, en considérant le second système de croisillons (*fig.* 79), comme il est fait ci-après, on peut construire les diagrammes correspondants. Nous donnons ci-après quelques-uns de ces diagrammes

(*fig.* 79, A', B', C', D'), que l'on peut comparer à ceux du premier système de croisillons. On doit remarquer que, d'après le second système de croisillons, les montants verticaux supportent des efforts de compression, tandis que, dans le premier système, ils étaient soumis à l'extension. Les liens obliques du premier système supportaient des efforts de compression, tandis que, dans le second système, ils sont distendus. Il est plus rationnel de les calculer à la compression.

Les liens obliques montants AB, CD, EF, qui supportent des efforts de compression (premier système de croisillons, voir la disposition générale *fig.* 76), se font le plus ordinairement avec du fer à nervures, soit à simple **T**, soit en **U**, tandis que les barres obliques du second système, qui sont soumises à l'extension, se font en fer plat. Vers le milieu de la poutre, les efforts de tension et de compression des barres obliques sont très faibles. Par rapport à la figure 76 (disposition générale) et à cause de la symétrie, les choses se reproduisent en sens inverse. Pour s'orienter, on peut dire que les liens inclinés, dont les prolongements rencontrent l'axe vertical MN de la poutre au-dessus de cette poutre, supportent des efforts de compression qui vont en diminuant depuis le point d'appui jusqu'à l'axe et que les liens inclinés, dont les prolongements rencontrent l'axe de la poutre au-dessous de cette poutre, supportent des efforts d'extension.

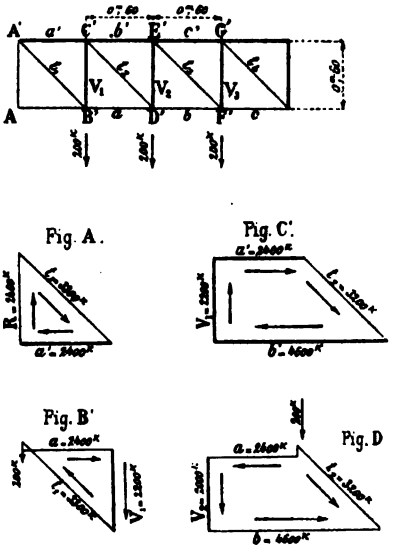


Fig. 79.

Calcul d'un appentis métallique. — La construction est comprise entre trois murs AB, BC, CD (voir le plan, *fig.* 81). Le côté AD est entièrement ouvert.

Deux fermes, disposées chacune comme le montre la coupe transversale (*fig.* 80), partagent le plan en trois parties égales. Ces deux fermes sont portées par le mur de fond BC et en avant par des colonnes en fonte F, G, indiquées au plan. Les colonnes en fonte sont reliées à la partie supérieure par un fer à double **T** de $0^m,16$ de hauteur (voir le détail A, *fig.* 80), qui s'étend dans toute la

longueur de l'appentis et pénètre dans les deux murs latéraux, AB, CD.

L'arbalétrier et l'entrait de chaque ferme sont constitués par deux fers cornières à branches inégales de $\frac{90 \times 60}{10}$ millimètres, pesant 11 kilogr. le mètre courant, entre lesquels sont assemblées. au moyen de rivets, des décharges en fer plat, cotées dans le croquis.

Les pannes de (18 × 12) centimètres sont en bois de sapin.

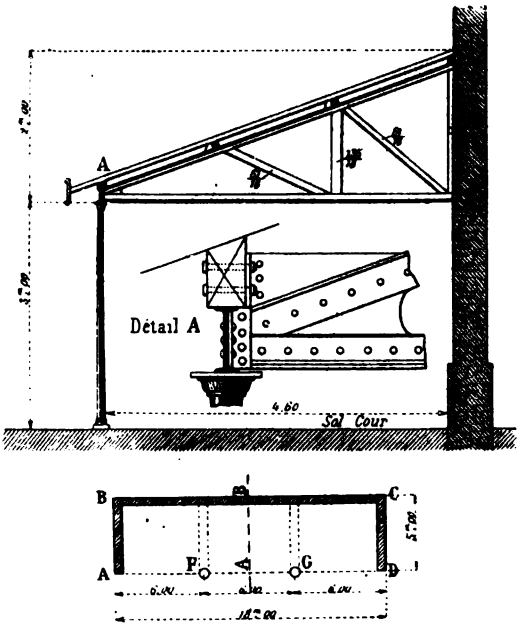


Fig. 80 et 81.

Les chevrons carrés, de 8 centimètres d'équarrissage sont distants de 0m,60. La couverture est en tuiles.

Nous adopterons, dans les calculs qui vont suivre, pour la charge totale de la toiture, 120 kilogr. par mètre carré, cette charge comprenant le poids de la ferme et une surcharge accidentelle de neige et de vent.

D'après les données, la charge totale d'un arbalétrier est approximativement de :

$$5^m \times 6^m \times 120 = 3.600 \text{ kilogr.}$$

La figure 82 (p. 318) montre que l'arbalétrier AS est divisé en

trois tronçons de même longueur ; il en résulte que la charge de chaque tronçon est de 1.200 kilogr. ; ce qui donne la charge de 1.200 kilogr. pour chaque panne intermédiaire B et D et, en outre, 600 kilogr. sur la panne-sablière A, et 600 kilogr. sur la panne du faîtage en S.

La répartition de la charge totale de l'arbalétrier sur les points d'appui A, B, D, S étant obtenue, il est facile de déterminer graphiquement les efforts des éléments constitutifs de la ferme. Les figures A, B, C, D, qui sont les diagrammes des points A, B, C, D, donnent ces différents efforts. Les trois tronçons de l'arbalétrier supportent des efforts de compression qui vont en diminuant du pied A au sommet S. Les décharges obliques EC, DE sont comprimées. L'entrait ACE subit des efforts de tension ; enfin la pièce verticale DC est également soumise à l'extension.

Les diagrammes donnent : 1° pour le plus grand effort de compression de l'arbalétrier AS :

$$a = 7.400 \text{ kilogr.};$$

2° Sur l'entrait AE le plus grand effort d'extension est :

$$T = 6.800 \text{ kilogr.};$$

3° Sur la décharge inclinée DE l'effort de compression :

$$h = 2.000 \text{ kilogr.};$$

4° Enfin sur la tige verticale DC l'effort de tension est :

$$g = 600 \text{ kilogr.}$$

Calcul des sections, arbalétrier (*fig.* 82). — L'arbalétrier AS supporte un effort de compression de 7.400 kilogr. ; il est formé de deux fers cornières à branches inégales de $\frac{90 \times 60}{10}$ millimètres. La section de chaque fer cornière est d'environ 1.400 millimètres carrés ; ce qui fait pour les deux fers 2.800 millimètres carrés. L'effort de compression est donc de $2^{kg},7$ par millimètre carré, ce qui est un effort acceptable, et l'on reconnaît que l'arbalétrier présentera une section suffisante, par la raison que chacun de ces tronçons peut être considéré comme présentant deux encastrements.

Entrait. — L'entrait est, comme il a été dit, de même section que l'arbalétrier ; l'effort d'extension qu'il supporte est de 6.800 kilogr. Il en résulte que l'effort de traction est de $\frac{6.800}{2.800} = 2^{kg},4$ par millimètre carré, ce qui est un effort très faible.

Décharge inclinée DE. — Sa section est de $135 \times 18 = 2.430$ millimètres carrés. L'effort de compression de cette pièce est de

2.000 kilogr., il en résulte que l'effort, par millimètre carré, est moindre que 1 kilogr.; mais, eu égard au rapport 110 de la longueur 2 mètres de cette pièce à sa plus petite dimension transversale, l'effort est très grand, mais acceptable.

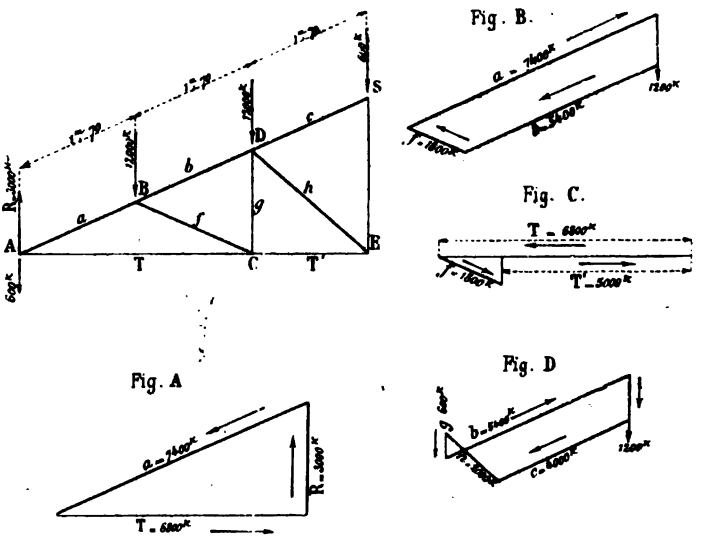


Fig. 82.

Calcul de la sablière en fer à double T (voir le détail A, *coupe transversale* de la ferme, p. 316). — Le plan montre que la sablière, entre les colonnes de fonte F, G, présente une portée de 6 mètres. Cette sablière porte une panne en sapin qui reçoit les abouts des chevrons. En se reportant à la répartition calculée des charges de l'appentis, on reconnaît que la charge totale de ce fer à double T est de 600 kilogr. Le calcul apprend qu'un fer de $0^m,16$ de hauteur pesant 14 à 15 kilogr., le mètre présente une résistance suffisante, le coefficient de travail étant de 6 kilogr. par millimètre carré.

Calcul d'une panne en bois. — Chaque panne porte, à raison de 120 kilogr. par mètre carré de toiture, la charge uniforme de 1.200 kilogr.; sa section est de (22 × 15) centimètres.

La composante de 1.200 kilogr., normale au rampant de la toiture, est d'environ 1.050 kilogr. Avec ces données on trouve que la section de la panne donne :

$$\frac{I}{n} = 0,00648;$$

par suite, la formule :

$$\frac{pl^2}{8} = R\,\frac{I}{n}$$

donne, en faisant $pl = 1.050$ kilogr., et $l = 6$ mètres,

$$R = 60 \text{ kilogr. par centimètre carré}$$

pour le coefficient de travail de la panne en bois.

Ferme à la Mansard (en bois). — Des fermes en bois à la Mansard ont 10 mètres d'ouverture. L'espacement des fermes est de $3^m,50$. La charge de la toiture, comprenant le poids de la char-

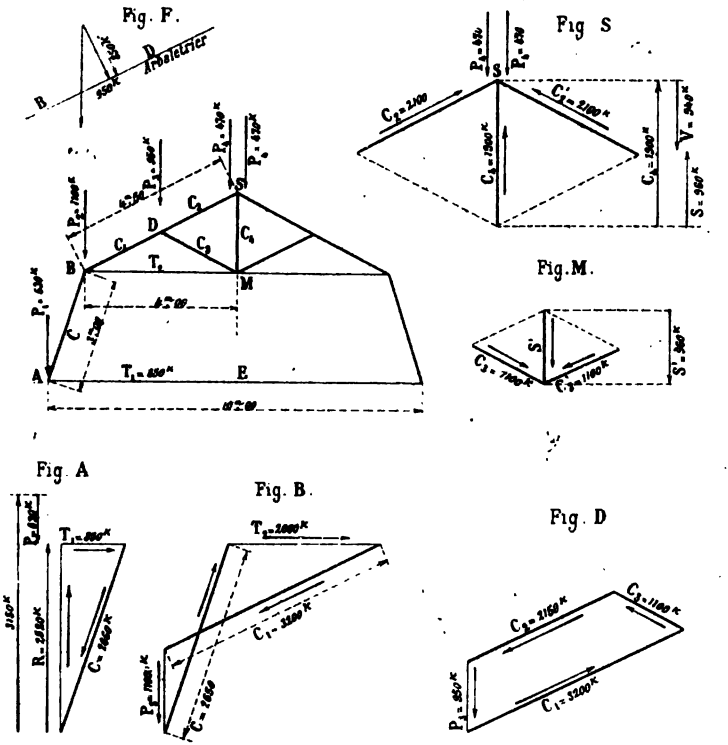


Fig. 83.

pente et une surcharge accidentelle de neige et de vent, est évaluée à 120 kilogr. par mètre carré. On se propose de calculer les efforts des divers éléments d'une ferme et les sections de ces éléments.

Solution. — Nous rappelons l'un des tracés d'une ferme à la Mansard, qui consiste à décrire une demi-circonférence sur l'ou-

verture de la ferme, réduite à ses axes, et à prendre l'arc AB égal au 1/5 de la demi-circonférence. Le tracé s'achève facilement.

Calcul des charges de la ferme. — D'après les données, l'arbalétrier AB = 3 mètres, ou *panne de brisis*, porte la charge uniforme suivante :

$$3^m \times 3^m,50 \times 120^{kg} = 1.260 \text{ kilogr.}$$

Cette charge se répartit également en A et B, savoir :

En A : 630 kilogr.
En B : 630 —

D'autre part, la charge de l'arbalétrier BDS est :

$$4^m,50 \times 3^m,50 \times 120^{kg} = 1.890 \text{ kilogr.}$$

Les deux tronçons BD et DS étant égaux, et la charge de l'arbalétrier étant uniforme, le point D porte les 5/8 de cette charge et non la moitié ; mais nous admettrons, pour simplifier, que la charge 1.890 kilogr. de l'arbalétrier BS se répartit par moitié sur chacun de ses deux tronçons, et que dans chaque tronçon, la charge se répartit par moitié à chacune de ses extrémités ; de sorte que la charge totale de la demi-ferme ABDS, qui est de 3.150 kilogr., se répartit sur les appuis A, B, D, S, comme il suit (en nombres ronds) :

En A :		630 kilogr.
En B :	630 + 470 =	1.100 —
En D :		950 —
Au sommet S :		470 —
	TOTAL =	3.150 kilogr.

Équilibre du pied A *de la ferme.* — Le pied A est soumis : 1° à la réaction du poids total de la demi-ferme ABDS, soit 3.150 kilogr., dirigée de bas en haut ; 2° ce même point A porte directement le poids P_1 = 630 kilogr. provenant de la répartition des charges de la ferme ; ce poids a la direction de la pesanteur de haut en bas. La résultante de ces deux forces est :

$$R = 3.150^{kg} - 630^{kg} = 2.520 \text{ kilogr.},$$

dirigée de bas en haut, ainsi que le montre le diagramme du point A (équilibre A). Ce diagramme fait connaître : 1° la compression en A de l'arbalétrier ou panne de brisis, savoir :

$$C = 2.650 \text{ kilogr.}$$

2° La traction sur l'entrait AE, savoir :

$$T = 850 \text{ kilogr.}$$

Équilibre de l'articulation B (voir la figure 83, équilibre B). — Ce point est soumis : 1° à la charge verticale $P_1 = 1.100$ kilogr. ; 2° aux compressions des deux arbalétriers AB et BD ; 3° à l'extension du faux entrait BM. Le diagramme de ces quatre forces (voir la figure 83, équilibre B) fait connaître la compression en B sur BD, savoir :

$$C_1 = 3.200 \text{ kilogr.}$$

et la traction :

$$T_2 = 2.050 \text{ kilogr.}$$

sur le faux entrait BM.

Équilibre du point D (*ensemble de la ferme*). — Le point D est soumis : 1° à l'action du poids $P_3 = 950$ kilogr. ; 2° aux deux compressions C_1 et C_2 de sens contraires ; 3° à la compression C_3 de la contre-fiche DM. Le diagramme de ces quatre forces fait connaître la compression du tronçon DS, savoir (*fig.* D, p. 319) :

$$C_2 = 2.150 \text{ kilogr.}$$

et la compression :

$$C_3 = 1.100 \text{ kilogr.}$$

de la contre-fiche DM.

Équilibre du sommet S *de la ferme.* — Le sommet porte : 1° la charge verticale (*fig.* S et M) :

$$V = 470^{kg} \times 2 = 940 \text{ kilogr.}$$

2° Il supporte les deux compressions symétriques C_2, C'_2 des arbalétriers. Le diagramme de ces forces (voir équilibre S) montre que la résultante des forces C_2 et C'_2 est de 1.900 kilogr. dont il faut retrancher la charge V du sommet, ce qui donne une compression sur le poinçon, savoir :

$$S = 1.900^{kg} - 940^{kg} = 960 \text{ kilogr.},$$

laquelle compression est dirigée de bas en haut. Enfin l'équilibre du point M montre que la composante des deux compressions symétriques c_3 et C'_3 des deux contre-fiches, c'est-à-dire $S' = 940$ kilogr., est égale et de sens contraire à la compression du poinçon en S. Cela sert de vérification.

Calcul des sections (Voir *l'ensemble de la ferme*, p. 319). — En comparant les éléments AB et BS au moyen des diagrammes A, B et D, on reconnaît que l'arbalétrier BS subit des efforts soit de compression, soit de flexion, plus grands que ceux qui sollicitent AB. Il faut donc commencer par déterminer l'équarrissage de l'arbalétrier BS, par la nécessité de construction de donner à l'élément AB le même équarrissage qu'à l'arbalétrier BDS.

Calcul de l'arbalétrier BDS. — La charge totale et uniforme de l'arbalétrier BDS est de 1.890 kilogr., ce qui donne pour chacun

des tronçons BC, DS, la charge de 945 kilogr. Calculons l'équarrissage du tronçon BD qui supporte la plus grande compression $C_1 = 3.200$ kilogr. (voir la figure 83, équilibre D). Ce tronçon BD supporte une charge fléchissante verticale égale à 945 kilogr.; mais, à cause de l'inclinaison de l'arbalétrier, c'est la composante normale à BD qui produit la flexion.

Cette composante normale est égale à 850 kilogr. (Voir *fig.* F, détail BD).

Nous appliquerons au tronçon BD $= 2^m,25$ la formule :

$$\frac{pl^2}{8} = R\left(\frac{I}{n}\right), \qquad (1)$$

en prenant $pl = 850$ kilogr., $l = 2^m,25$ et essayant la section de l'arbalétrier $S = b \times h = 0^m,15 \times 0^m,18$; on en déduit :

$$\frac{I}{n} = \frac{bh^2}{6} = \frac{0^m,15 \times \overline{0^m,18}^2}{6},$$

ou

$$\frac{I}{n} = 0,000810.$$

La relation (1) donne :

$$239 = R \times 0,000810 ;$$

d'où :

$$R = \frac{239}{0,000810} = 29 \text{ kilogr.}$$

par centimètre carré.

Il faut ajouter à ce chiffre l'effort de la compression de l'arbalétrier.

La compression (voir *fig.* D, p. 319) du tronçon BD est :

$$C_1 = 3.200 \text{ kilogr.}$$

et la section de l'arbalétrier étant égale à $18 \times 15 = 270$ centimètres carrés, la compression par centimètre carré est :

$$\frac{3.200}{270} = 12 \text{ kilogr.},$$

d'où la compression sur les fibres les plus fatiguées de l'arbalétrier est :

$$29^{kg} + 12^{kg} = 41 \text{ kilogr.}$$

par centimètre carré. C'est un chiffre faible qui assure toute sécurité. Nous rappelons qu'avec le bois il faut compter très largement, à cause des assemblages, et ne pas perdre de vue que le calcul ne tient pas compte de l'amaigrissement des pièces dû aux mortaises qui réduisent souvent à moitié les sections des bois et même au tiers.

Calcul de la panne-brisis AB (p. 319). — Un calcul analogue au précédent apprend que cette pièce supporte des efforts plus faibles que ceux de l'arbalétrier BDS. On peut donc adopter pour AB le même équarrissage que pour BS.

Calcul des entraits AE, BM. — L'entrait BM est soumis à un effort d'extension :

$$T_2 = 2.000 \text{ kilogr.}$$

Si l'on s'en tenait à faire travailler cet élément à 20, 30 kilogr. par centimètre carré, on serait conduit à une section très faible qui ne serait pas en rapport avec les dimensions de l'arbalétrier BS. Ainsi, en admettant un coefficient de travail égal à 20 kilogr. par centimètre carré, la section se réduirait à :

$$S = \frac{2.000}{20} = 100 \text{ centimètres carrés,}$$

section qui serait réalisée par l'équarrissage 10×10 centimètres; mais les exigences des assemblages obligent à adopter un équarrissage en rapport avec l'arbalétrier, et dans l'exemple actuel les constructeurs adopteraient, avec la hauteur $0^m,20$, une épaisseur égale à celle de l'arbalétrier, c'est-à-dire $0^m,15$. L'équarrissage serait donc :

$$0^m,20 \times 0^m,15 = 300 \text{ centimètres carrés,}$$

ce qui réduirait le travail d'extension par centimètre carré à :

$$\frac{2.000}{300} = 7 \text{ kilogr.;}$$

mais il faut tenir compte que les assemblages dans les charpentes réduisent les sections efficaces souvent au tiers.

Tout ce qui est dit ci-dessus par rapport au faux entrait BM est applicable à l'entrait inférieur AE qui supporte un effort d'extension

$$T_1 = 850 \text{ kilogr.,}$$

moindre que la moitié de l'effort d'extension du faux entrait. Pour cet entrait on maintient aussi un équarrissage bien supérieur à celui qui serait strictement nécessaire au point de vue de la résistance.

Contre-fiche DM *et poinçon* SM. — Ces éléments sont soumis à des efforts de compression très peu élevés, eu égard à leur faible longueur. Ces pièces présentent, à cause des assemblages, des amaigrissements dont il faut tenir compte. La nécessité des assemblages leur assigne des sections beaucoup plus grandes que l'indique le calcul.

Série de fermes pour atelier. — *Chaque ferme se compose : 1° d'un arbalétrier* BA' (*fig.* 84) *portant la toiture ; 2° d'un arbalétrier* AB *soutenant un vitrage ; 3° d'aiguilles verticales et de*

tirants obliques. La portée AA' de la ferme est de 7 mètres. L'espacement des fermes est de 4 mètres. La charge de la toiture, y compris

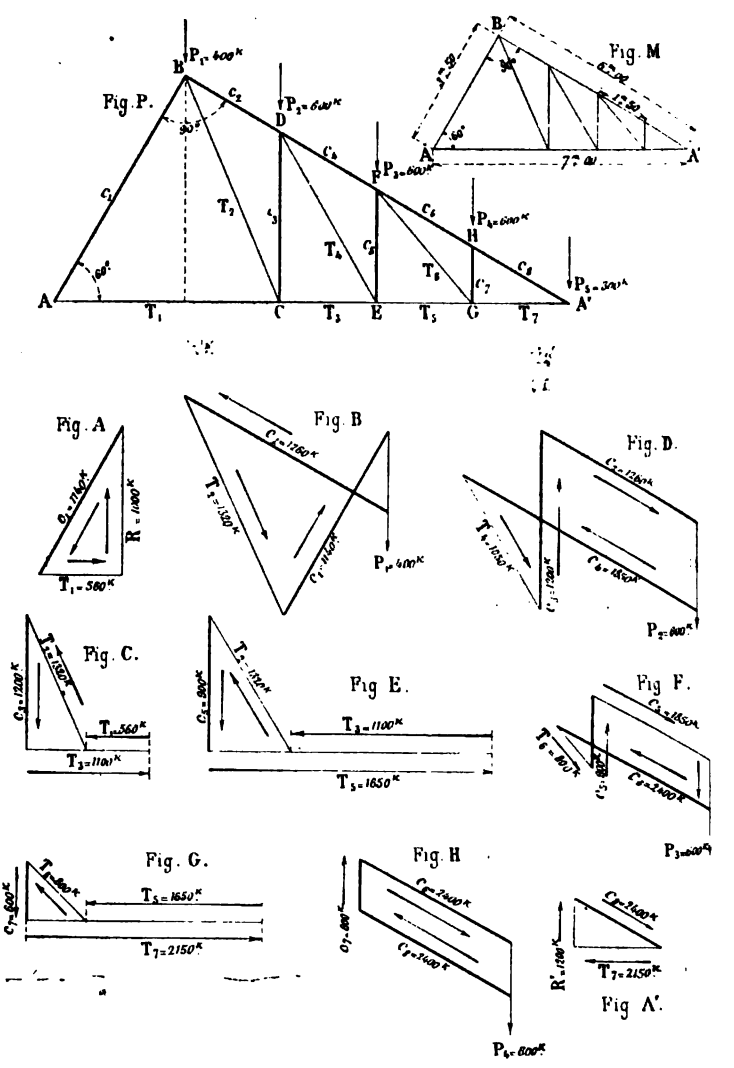


Fig. 84.

le poids de la ferme et une surcharge est évaluée à **100** *kilogr. le mètre carré de toiture. Le poids du vitrage donne sur* **AB** *une charge*

uniforme de 200 kilogr. On propose de calculer les efforts sur les divers éléments de cette ferme et les sections de ces éléments ?

SOLUTION. — Le rampant BA′ a 6 mètres environ ; d'après cela, la charge de l'arbalétrier BA′ est de :

$$6^m \times 4^m \times 100^{kg} = 2.400 \text{ kilogr.}$$

Nous admettrons que cette charge se répartisse également sur les travées égales de l'arbalétrier ; ce qui fait par travée 600 kilogr. et ce qui donne :

En B et A′ : 300 kilogr.
En D, F et H : 600 kilogr.

D'autre part, la charge 200 kilogr. du vitrage AB donne 100 kilogr. au sommet B, et 100 kilogr. au pied A, qui sont portés directement par l'appui A.

D'après la distribution de la charge totale, 2.400 kilogr. de l'arbalétrier BA′, la verticale de cette charge totale passe au point E, milieu de *m*A′.

Cette charge totale 2.400 kilogr. se répartit donc sur les appuis extrêmes A et A′, en raison inverse des distances EA, EA′ ; ce qui donne :

En A : 925 kilogr.
En A′ : 1.475 kilogr.

Il faut ajouter à ces charges la répartition des 100 kilogr. du sommet B, suivant le rapport inverse *m*A et *m*A′. Le calcul donne :

75 kilogr. en A,
et 25 kilogr. en A′.

En résumé les charges sont :

En A : $925^{kg} + 75^{kg} = 1.000$ kilogr.,
et en A′ : $1.475^{kg} + 25^{kg} = 1.500$ kilogr.,

dont il faut retrancher 300 kilogr. portés par l'appui A′.

Il en résulte que les réactions sur les appuis sont :

En A : Q = 1.000 kilogr.
et en A′ : Q′ = 1.500 kilogr. — 300 = 1.200 kilogr.

Avec ces données il est facile de construire les diagrammes des articulations A, B, C, etc., jusqu'au point A′. Ainsi la figure A est le diagramme du point A qui supporte : 1° la réaction R = 1.000 kilogr. de l'appui A ; 2° la compression de l'élément incliné AB ; 3° la traction ou tension du tirant inférieur AA′. Ce diagramme A fait connaître la compression :

$$c_1 = 1.140 \text{ kilogr.}$$

sur l'élément AB, et la tension sur le tirant inférieur, savoir :

$$T_1 = 560 \text{ kilogr.}$$

Il est facile de se rendre compte des divers diagrammes B. C, D, etc., qui se rapportent respectivement aux articulations B, C. D, etc., de la ferme.

On peut remarquer que le dernier diagramme (*fig.* A'), à droite et en bas des croquis, sert de vérification. En effet ce diagramme donne l'équilibre du point A' qui supporte : 1° la réaction $R' = 1.200$ kilogr. de l'appui A'; 2° la compression $C_8 = 2.400$ kil. de l'arbalétrier ; 3° la tension $T_7 = 2.150$ kilogr. de l'entrait inférieur.

Signalons aussi que le diagramme H exprime que la compression de l'élément vertical GH fait équilibre à la charge verticale 600 kilogr. du point H. Dans le même diagramme les compressions de l'arbalétrier au point H, à gauche et à droite de ce point, sont les mêmes et de sens contraire.

Calcul des sections. — *Arbalétrier* BA'. — Ce sont les tronçons FH et HA' de l'arbalétrier (*fig.* 84), qui supportent la plus grande compression qui est de 2.400 kilogr.

En outre, chacun des tronçons de $1^m,50$ de longueur de l'arbalétrier porte une charge fléchissante de 600 kilogr. qui se réduit à cause de l'inclinaison de la toiture et donne une composante normale à l'arbalétrier de 520 kilogr.

Admettons que l'arbalétrier soit constitué par deux cornières de 70 × 70 (millimètres). Le calcul permettra de vérifier la section.

On a donc :

$$\frac{pl^2}{8} = R\,\frac{I}{n},$$

en prenant $pl = 520$ kilogr., $l = 1^m,50$ et $R = 6$ kilogr. par millimètre carré ou 6.000.000 kilogr. par mètre carré. Mais on peut déterminer simplement le poids de la cornière par la formule de la page 268 :

$$\frac{pl}{F} = 121R\left(\frac{h}{l}\right),$$

ou en faisant usage du tableau de la page 268. A cet effet adoptons une hauteur de cornière égale à $0^m,07$ et prenons le rapport :

$$\frac{l}{h} = \frac{1^m,50}{0^m,07} = 21,4.$$

Pour ce rapport le tableau (p. 268) donne :

$$\frac{pl}{F} = 33,7,$$

d'où le poids de la cornière est (en prenant $F = 260^k = \frac{520^k}{2}$) :

$$F = \frac{260}{33,7} = 7^{kg},7.$$

On cherchera dans les albums de fer une cornière de $0^m,07$ de branche dont le poids se rapproche de $7^{kg},7$.

Il reste à calculer l'arbalétrier à la compression de 2.400 kilogr. qu'il supporte dans les tronçons FH et HA'. Du poids de la cornière, on en déduit la section en millimètres carrés par la formule :

$$F = S \times 7.800 \text{ kilogr.};$$

d'où :

$$S = \frac{F}{7.800} = \frac{7^{kg},7}{7.800} = 0^{mq},0010,$$

approximativement 1.000 millimètres carrés; ce qui fait pour les deux cornières constituant l'arbalétrier 2.000 millimètres carrés. Par suite, l'effort de compression de l'arbalétrier est, par millimètre carré, de :

$$\frac{2.400^{kg}}{2.000} = 1^{kg},2.$$

L'effort maximum des fibres les plus fatiguées de l'arbalétrier est donc :

$$R' = 6^{kg} + 1^{kg},2 = 7^{kg},2$$

par millimètre carré.

Calcul de l'élément incliné AB (*fig.* 84, p. 324).—Cet élément supporte une compression de 1.140 kilogr. $= C_1$ (voir la *fig.* A) et, en outre, une charge de flexion due au poids de 200 kilogr. du vitrage AB. Mais, à cause de la grande inclinaison de AB, l'effort de flexion se réduit à 100 kilogr., qui est la composante normale à AB de cette charge de 200 kilogr. A la rigueur on pourrait faire abstraction de cette charge fléchissante et uniforme de 100 kilogr. sur AB et tenir compte seulement de la compression de 1.140 kilogr. sur AB dont la longueur $= 3^m,50$.

Adoptons pour la section de cet élément AB un profil en croix de $80 \times 80 \times 8$, qui présente une section de 1.216 millimètres carrés.

Appliquons la formule (p. 254), savoir :

$$P = \frac{K.S}{1 + 0,0008 \left(\frac{l}{h}\right)^2},$$

en prenant :

$$K = \frac{2.500^{kg}}{7} = 357 \text{ kilogr.},$$

$l = 3^m,50$, $h = 0^m,08$, $S = 1.264$ millim. car. $= 12^{cm2},64$.

on obtient :

$$P = 1.770 \text{ kilogr.},$$

résultat plus grand que 1.140 kilogr. Il y aura donc grande sécurité avec le profil adopté.

Calcul de l'entrait AA'. — L'entrait supporte dans ses divers tronçons des efforts de tension qui vont en augmentant de A vers A'.

Le plus grand effort est de 2.150 kilogr. dans le tronçon GA' (voir *fig.* G et A').

A la rigueur, en adoptant un coefficient de 5 kilogr. par millimètre carré, il suffirait de donner à l'entrait AA' la section de :

$$\frac{2.150^{kg}}{5^{kg}} = 430 \text{ millimètres carrés.}$$

En adoptant deux cornières de :

$$45 \times 45 \times 5 \text{ (millimètres)},$$

donnant une section de 850 millimètres carrés, on aurait une section plus que suffisante; mais, pratiquement, des nécessités de construction obligeront à adopter des cornières plus grandes, afin de river plus facilement les montants verticaux et les liens obliques.

Liens verticaux ou aiguilles. — Ces éléments supportent des efforts de compression qui vont en diminuant de gauche à droite. Leur longueur est tellement différente qu'il faudrait, en toute rigueur, les proportionner suivant les longueurs et suivant les efforts qu'ils supportent. C'est l'élément vertical CD qui supporte la plus grande compression qui est (voir la *fig.* D, p. 321) :

$$c_3 = 1.200 \text{ kilogr.};$$

la longueur CD $= 2^m,25$.

Cet élément est à peu près aussi chargé que l'élément oblique AB, mais il est plus court. On peut donc adopter à peu près la même section en croix ou une section un peu plus faible.

Pour les autres éléments verticaux on pourra prendre des sections plus faibles que la précédente.

Liens obliques. — Ces liens supportent des tensions qui vont en diminuant de gauche à droite. La plus grande est celle de BC qui est (voir *fig.* B) :

$$T_2 = 1.320 \text{ kilogr.}$$

En adoptant le coefficient 5 kilogr. par millimètre carré, il faudrait une section de :

$$\frac{1.320}{5} \; 264 \text{ millimètres carrés.}$$

Une cornière de $(45 \times 45 \times 5)$ millimètres donnant une sec-

tion de 425 millimètres carrés présente une résistance plus que suffisante.

Charpente en fer à contre-fiches et à tirants (*le tirant horizontal est placé à la hauteur des retombées.*) — Données :

Portées	16m,00
Rampant AS =	9 ,00
Écartement des fermes	4 ,00
Charge par mètre carré, y compris le poids de la ferme	100kg,00

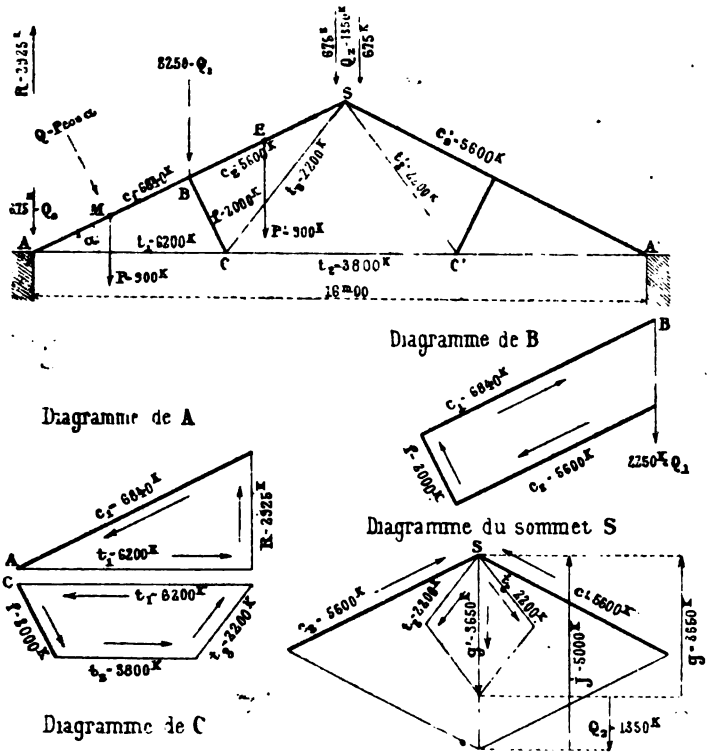


Fig. 85.

La charge de l'arbalétrier est de :

$$4^m \times 9^m \times 100 = 3.600^{kg} = pL.$$

Si cette charge était répartie également sur les deux travées de l'arbalétrier comme si, l'arbalétrier étant coupé en B, chacune de ces travées porterait une charge uniforme de 1.800 kilogr. ; ce

qui donnerait pour la demi-ferme la répartition suivante sur les points d'appui :

En A.....	900
En B.....	1.800
Au sommet S.....	900 kilogr.

Mais, plus exactement, la charge uniforme de la toiture est transmise par les chevrons aux pannes, et souvent on procède d'une autre manière : on admet que la charge totale est appliquée uniformément à l'arbalétrier reposant ici sur trois appuis A, B, S ; alors les charges sur ces appuis sont les suivantes :

En A.....	$\frac{3}{16}\,pL =$	675 kilogr.
En B.....	$\frac{5}{8}\,pL =$	2.250 —
En S.....	$\frac{3}{16}\,pL =$	675 —
Charge totale de la demi-ferme.....		3.600 kilogr.

Cette répartition est sensiblement différente de la précédente. Nous l'admettrons comme se rapprochant mieux de la pratique suivie. Cette répartition donne les diagrammes suivants : ainsi diagramme A figure l'équilibre de l'appui A, qui supporte : 1° la réaction 3.600 kilogr. égale et opposée au poids de la demi-ferme SA ; réaction dont il faut retrancher le poids $Q_0 = 675$ kilogr. porté par le mur A ; ce qui donne :

$$R = 2.925 \text{ kilogr. ;}$$

2° le point A supporte la compression de l'arbalétrier ; 3° et la tension du tirant ACA'. Le diagramme A donne pour le tronçon AB de l'arbalétrier la compression :

$$C_1 = 6.840 \text{ kilogr.,}$$

et sur le tirant ACA' dans le tronçon AC la tension :

$$t_1 = 6.200 \text{ kilogr.}$$

La bielle BC est soumise à la compression

$$f = 2.000 \text{ kilogr.,}$$

qui est donnée par le diagramme de B ; lequel fait connaître la compression :

$$C_2 = 5.600 \text{ kilogr.}$$

dans le tronçon BS de l'arbalétrier AS.

Enfin le diagramme du sommet S sert de vérification. Les deux compressions $C_2 = 5.600$ kilogr. chacune, donnent une résultante $J = 5.000$ kilogr. En en retranchant la charge $Q_2 = 1.350$ kilogr. du sommet, on obtient la résultante $g = 3.650$ kilogr., dirigée de

bas en haut. On peut remarquer que cette résultante g est égale et opposée à $g' = 3.650$ kilogr., qui est la résultante des deux tensions $t_3 = 2.200$ kilogr. des tirants obliques SC, SC'.

Sections des éléments de la ferme. Arbalétrier AS. — Il supporte un effort de compression dans le tronçon AB (diagramme A) de :

$$C_1 = 6.840 \text{ kilogr.}$$

et, en outre, une charge de flexion due à la charge de la toiture.

La charge uniforme de l'arbalétrier AS est de 3.600 kilogr., ce qui fait pour le tronçon AB la charge de 1.800 kilogr. qui pourrait être remplacée par une charge moitié ou de 900 kilogr., appliquée au milieu M de AB. Cette charge doit être réduite à cause de l'inclinaison, et sa composante normale à AB est égale à :

$$Q = P \cos \alpha = 800 \text{ kilogr.},$$

ou une charge uniforme double ou de 1.600 kilogr., appliquée sur AB.

Après divers tâtonnements, nous avons adopté pour former l'arbalétrier un fer à double **T** de $0^m,22$ de hauteur et $0^m,094$ de longueur du **T**, ce fer pesant 34 kilogr. le mètre. Le module de ce fer est :

$$\frac{I}{n} = 0,000249, \text{ soit } 0,00025.$$

Appliquons la formule :

$$\frac{pl^2}{8} = R \frac{I}{n}, \qquad (1)$$

en prenant :

$$pl = 1.600 \text{ kilogr.}, \qquad l = AB = 4^m,58, \qquad \frac{I}{n} = 0,00025 ;$$

avec ces données la formule (1) donne :

$$R = 3^{kg},6$$

par millimètre carré.

C'est un taux très faible, mais auquel il faut ajouter le taux de la compression de l'arbalétrier. Or le tronçon AB supporte la compression (voir le diagramme A) :

$$C = 6.840 \text{ kilogr.}$$

La section de l'arbalétrier se déduit de son poids, 34 kilogr. par mètre, et a pour valeur :

$$S = \frac{34}{7.800} = 0^m,0043,$$

$$S = 43 \text{ centimètres carrés ou } 4.300 \text{ millimètres carrés.}$$

Par suite, l'effort de compression sur l'arbalétrier par millimètre carré est:

$$\frac{6,840}{4.300} = 1^{kg},6.$$

Par conséquent, le coefficient de travail des fibres les plus fatiguées de l'arbalétrier est:

$$3^{kg},6 + 1^{kg},6 = 5^{kg}.2,$$

par millimètre carré. C'est un taux peu élevé qui apprend que l'on pourrait réduire la section de l'arbalétrier.

Il est nécessaire de vérifier si la formule de la compression est satisfaite. On a trouvé (p. 254) pour la charge d'un fer à double T, la formule:

$$P = \frac{357S}{1 + 0,0008\left(\frac{l}{h}\right)^2}. \qquad (2)$$

Prenons S = 43 centimètres carrés,

$$\frac{l}{h} = \frac{4^m,58}{0^m,094} = 48.$$

C'est le rapport du tronçon AB = $4^m,58$ à la longueur du T du fer adopté.

Avec ces valeurs la formule (2) donne la charge:

$$P = 7.525 \text{ kilogr.},$$

qui est plus grande que la compression c = 6.840 kilogr. Ainsi le fer adopté présente la résistance suffisante.

Bielle BC. — La bielle en fonte supporte un effort de compression (voir le diagramme B):

$$f = 2.000 \text{ kilogr.}$$

En adoptant un coefficient de travail de $2^{kg},5$ par millimètre carré, la section nécessaire serait:

$$S = \frac{2.000}{2,5} = 800 \text{ millimètres carrés},$$

ce qui exige que le diamètre soit au moins de 32 millimètres.

Tirant horizontal ACA'. — La plus grande tension du tirant se produit dans le tronçon AC qui donne pour cette tension (voir le diagramme A, p. 329):

$$t_1 = 6.200 \text{ kilogr.}$$

En adoptant un taux de travail de 5 kilogr. par millimètre carré, la section nécessaire serait:

$$S = \frac{6.200}{5} = 1.240 \text{ millimètres carrés},$$

ce qui répond à un diamètre de 40 millimètres.

Tirants obliques SC, SC'. — Ils supportent chacun un effort de 2.200 kilogr. En adoptant un effort de 5 kilogr. par millimètre, il faudrait une section de :

$$\frac{2.200}{5} = 440 \text{ millimètres carrés,}$$

ce qui répond à un diamètre de 24 millimètres.

Calcul d'une poutre triangulaire métallique encastrée dans un mur et portant une marquise. — Données. — *Portée*, $4^m,00$;

Hauteur à l'encastrement, $1^m,50$;

Charge totale uniforme de la poutre, 1.200 *kilogr., comprenant le poids de la poutre. Calculer les efforts des divers éléments et les sections de ces éléments ?*

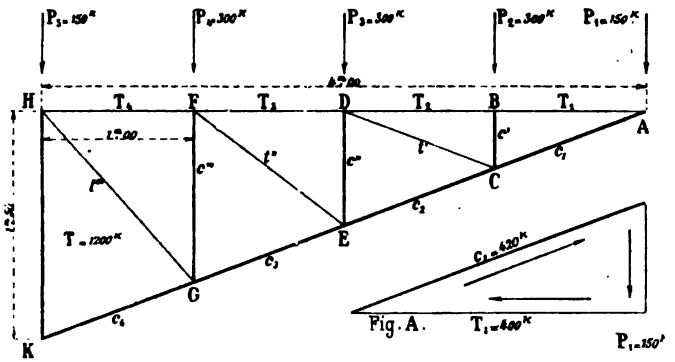


Fig. 86.

Solution. — On peut considérer cette poutre comme une ferme renversée. La poutre présentant quatre travées égales, nous admettrons que chacune recevra le quart de la charge totale de 1.200 kilogr., soit 300 kilogr.

La répartition des charges sera la suivante :

En A :	$P_1 = 150$ kilogr.
En B :	$P_2 = 300$ —
En D :	$P_3 = 300$ —
En E :	$P_4 = 300$ —
En H :	$P_5 = 150$ —

Diagramme du point A. — Le point A porte : 1° la charge verticale $P_1 = 150$ kilogr. ; 2° il supporte en outre la compression C_1 de l'arbalétrier ; 3° la tension T_1 de l'entrait horizontal AH. La figure A qui est le diagramme de ces trois forces fait connaître la compression :

$$C_1 = 430 \text{ kilogr.}$$

dans le tronçon AC de l'arbalétrier, et la tension :

$$T_1 = 400 \text{ kilogr.}$$

dans le tronçon AB de l'entrait horizontal AH.

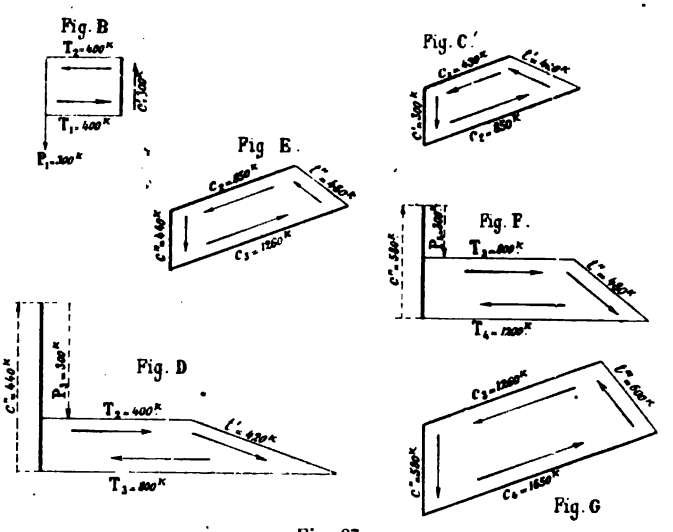


Fig. 87.

Diagramme du point B. — Ce point reçoit : 1° la charge $P_2 = 300^{kg}$ qui comprime le lien vertical BC, lequel supporte une compression égale à cette charge verticale, soit :

$$C' = 300 \text{ kilogr.}$$

2° Le même point B supporte les compressions égales et opposées :

$$C_1 = C_2 = 400 \text{ kilogr.}$$

La figure B est le diagramme de ces quatre forces.

Les figures C, D, E, F, G sont respectivement les diagrammes des points C, D, E, F, G.

Les tronçons de l'arbalétrier AK supportent des compressions qui vont en augmentant vers l'encastrement HK. Les liens verticaux supportent des efforts de compression qui augmentent vers l'encastrement.

L'élément vertical HK, à l'encastrement, supporte une compression de 1.200 kilogr., due à l'effort tranchant de 1.200 kilogr., produit par le poids total du système.

Les tronçons de l'entrait AH supportent des tensions qui vont

en augmentant de A vers H. Enfin les liens obliques CD, EF, GH supportent des tensions qui vont aussi en augmentant dans le même sens.

Section des éléments. Arbalétrier AK. — Le plus grand effort de compression de l'arbalétrier se produit dans le tronçon GK; cet effort est (*fig.* G) :

$$C_4 = 1.650 \text{ kilogr.}$$

On peut vérifier qu'en prenant pour constituer cet arbalétrier deux cornières de $40 \times 40 \times 4$ (millimètres), la section 608 millimètres carrés sera suffisante.

En effet la longueur du tronçon GK est $1^m,05$; d'où le rapport de la longueur de ce tronçon au côté de la cornière est :

$$\frac{1^m,05}{0^m,06} = 17,5 \text{ environ.}$$

Pour ce rapport la formule (A) (p. 254) donne :

$$P = 1.900 \text{ kilogr.} > 1.650 \text{ kilogr.}$$

On vérifiera que la même section est suffisante pour supporter l'effort de compression de 1.200 kilogr., du montant vertical HK dont la hauteur est de $1^m,50$ à l'encastrement.

Section de l'entrait horizontal AH. — Cet élément supporte des efforts de tension et de flexion.

Le tronçon FH à gauche supporte la plus grande tension qui est :

$$T_4 = 1.200 \text{ kilogr.}$$

et, en outre, il porte une charge uniforme de flexion de 300 kilogr. On peut vérifier que deux cornières de $60 \times 60 \times 6$ (millimètres) chacune, donnant une section totale de 1.368 millimètres carrés, présentent une résistance suffisante.

On fera le calcul au moyen de la formule :

$$\frac{pl^2}{8} = R\,\frac{I}{n}; \qquad (1)$$

quant à la tension, elle est pour le tronçon FH :

$$T_4 = 1.200 \text{ kilogr.};$$

d'où l'effort par millimètre carré est :

$$\frac{1.200}{1.368} = 0^{kg},9.$$

Cet effort s'ajoute au coefficient R, déduit de (1), pour la flexion; ce qui donne une valeur moindre que 6 kilogr.

Liens obliques. — Le plus chargé est le lien GH, à gauche, qui supporte une tension

$$t''' = 600 \text{ kilogr.}$$

En adoptant un effort de 5 kilogr. par millimètre carré, il faudra une section de

$$\frac{600}{5} = 120 \text{ millimètres carrés.}$$

On prendra une barre de (25 × 5) millimètres ou, à cause de la longueur de la barre, on prendra des fers à nervure à simple T ou des fers cornières pour former les liens obliques.

CHAPITRE IV

OUTILS ET APPAREILS EMPLOYÉS POUR LES TRAVAUX[1]

Levier. — La perpendiculaire abaissée d'un point sur la direction d'une force est le *bras de levier* de cette force par rapport à ce point. Le produit de la force par son bras de levier est le *moment* de cette force.

Pour qu'un levier sollicité par un nombre quelconque de forces soit en équilibre statique, il suffit que la somme des moments des puissances soit égale à celle des moments des résistance. Ainsi, pour le levier le plus simple (*fig.* 88), sollicité par une puissance P et une résistance R, pour qu'il y ait équilibre, on doit avoir, p et r étant les bras du levier de ces forces,

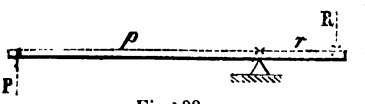


Fig. 88.

$$P \times p = R \times r;$$

d'où : $P = R\frac{r}{p}$, $p = r\frac{R}{P}$ et $r = p\frac{P}{R}$,

ayant à déterminer la puissance P qu'il faudra appliquer à l'extrémité du bras de levier $p = 2$ mètres pour faire équilibre à un poids ou à une résistance R = 1.000 kilogr. agissant à l'extrémité

[1] Voir *Introduction à la Science de l'Ingénieur*, par J. Claudel et L.-A. Barré, 1885 (4e édition).

d'un bras de levier $r = 0^m,20$, la première des formules précédentes donne, en remplaçant les lettres par leurs valeurs,

$$P = \frac{1.000 \times 0,20}{2} = 100 \text{ kilogr.}$$

100 kilogr. produisant l'équilibre, la plus légère augmentation de cette puissance, ou de son bras de levier, déterminera le mouvement.

La puissance et la résistance peuvent agir sur le levier d'un même côté du point de rotation, mais toujours de manière à tendre à produire le mouvement dans un sens contraire ; dans ce cas, en conservant pour P, R, p et r les mêmes significations, les relations précédentes subsistent entre ces quantités quand il y a équilibre.

En terme de chantier, on nomme *levier* une pièce de bois dont on se sert pour soulever de gros fardeaux par abatage ; on incline cette pièce en introduisant une de ses extrémités sous le fardeau, et en l'abattant ; après avoir mis dessous, près de la charge, un coin pour servir d'appui, on soulève le fardeau. On appelle aussi leviers les barres de bois qu'on introduit successivement dans les trous de l'arbre d'une chèvre ou d'un treuil pour en opérer la rotation quand on soulève des fardeaux.

Les leviers doivent être en chêne ou en frêne ; leur longueur varie de $1^m,50$ à 3 mètres; ils sont faits avec des *boulins* de $0^m,10$ à $0^m,12$ de diamètre. Pour un même effort, la charge soulevée croissant comme le bras de levier de la puissance et en raison inverse de celui de la résistance, ce que fait voir la seconde des quatre formules posées ci-dessus, l'ouvrier, pour soulever de fortes charges, doit approcher le plus possible le point d'appui de ces charges et agir à l'extrémité libre du levier.

Pinces. — On désigne ainsi des espèces de leviers en fer, aplatis à leurs extrémités, afin qu'on les fasse pénétrer facilement sous les pierres ; l'une des extrémités est recourbée sous un angle obtus (*fig.* 89), de manière à former un talon par lequel la pince prend appui, tout en tenant le bras du levier soulevé, ce qui n'oblige pas l'ouvrier à trop se baisser pour la manœuvre.

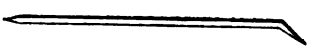


Fig. 89.

Cordages. — Les bons cordages sont durs et souples; on les reconnaît à leur aspect argentin, gris perle, ensuite verdâtre, puis jaune ; s'ils sont très foncés, c'est que le chanvre a été trop roui ; s'ils sont tachetés de brun, c'est que le chanvre a été trop mouillé. Les cordages sont défectueux quand ils sont cotonneux, lorsqu'on y trouve des esquilles de chenevottes, et quand les *torons* sont de grosseurs différentes et inégalement tordus. L'*âme*,

que l'on place quelquefois à l'intérieur des cordages, les fait échauffer et pourrir dans l'eau. Il faut éviter les cordages qui sentent le moisi, le pourri ou l'échauffé.

Les meilleurs chanvres viennent de Russie, de Suisse, d'Alsace et d'Italie; on donne la préférence à ceux des vallées avoisinant les montagnes, et dont la hauteur des brins est de 1 mètre à $1^m,30$.

D'après Duhamel, d et c étant respectivement, en centimètres, le diamètre et la circonférence d'une corde blanche en chanvre, le poids capable de rompre cette corde est égal à:

$$400d^2 \quad \text{ou} \quad 4,5c^2 \text{ kilogr.},$$

ce qui revient à environ $5^{kg},1$ par millimètre carré de section.

Les cordes se rompent de préférence aux points d'attache ou d'enroulement et aux nœuds, et elles cèdent, au bout de quelques heures, sous des efforts plus faibles que ceux qu'elles ont supportés pendant quelques minutes. Leur résistance momentanée peut être évaluée à 5 ou 6 kilogr. par millimètre carré de section ; mais on ne doit pas leur faire supporter dans la pratique plus de la moitié de cette charge. La rupture est toujours précédée par un allongement qui est le 1/6 de la longueur primitive; cet allongement est réduit au 1/10 pour la moitié de la charge de rupture.

D'après Coulomb, la résistance d'une corde goudronnée n'est que les 2/3 ou les 3/4 de celle d'une corde blanche d'un même nombre de fils de caret.

D'après Duhamel, les cordes goudronnées ont moins de durée et de résistance que les cordes blanches; le goudron y entre pour 1/6 du poids total. La résistance des cordes mouillées n'est que le 1/3 de celle des cordes sèches. Le graissage avec du savon, des huiles, etc., est nuisible et tend à faciliter le glissement des fils et torons.

Selon qu'une corde s'allonge de 1/7 à 1/5 sous la charge de rupture, son diamètre diminue de 1/14 à 1/7. Une corde sèche, en se mouillant, perd de 1/30 à 1/20 de sa longueur primitive ; ce raccourcissement est souvent la cause de bien des accidents, et l'on en doit tenir bien compte dans l'emploi des cordes très longues qui peuvent être mouillées après leur mise en place.

Câbles. — On désigne ainsi les gros cordages employés pour élever les matériaux à l'aide de chèvres, de treuils, etc., ou qui servent à fixer ces appareils; leur diamètre varie de $0^m,025$ à $0^m,060$. Lorsque quelques fils de caret sont endommagés, on peut raccommoder les câbles en roulant fortement autour de la partie détériorée, sur une certaine étendue, de la ficelle de $0^m,004$ ou $0^m,005$ de diamètre.

Pour suspendre et élever les pierres ou les *bourriquets* dans

lesquels on monte les matériaux, on se sert d'un gros cordage, appelé *braye* ou *élingue*, que l'on accroche à l'*esse* du câble de la chèvre ou du treuil.

Les *câbleaux* sont des câbles d'un petit diamètre ; les ouvriers les appellent quelquefois *châbleaux ;* on s'en sert ordinairement pour les treuils et les moufles qui ne doivent pas monter de fortes charges.

Les *cordages à main* ou *troussières* sont employés pour relier entre elles les différentes pièces des échafauds; leur longueur varie de 2 à 5 mètres, et ils ont de $0^m,01$ à $0^m,015$ de diamètre.

Les *lignes* ou *cordeaux* sont les petites cordes de $0^m,002$ à $0^m,005$ de diamètre dont se servent les maçons pour implanter les murs, porter et dresser les parements. Le petit cordeau retors employé pour le *plomb* se nomme *fouet*.

Raideur des cordes. — Lorsqu'on soulève un poids Q au moyen d'une corde qui s'enroule sur une poulie ou sur un tambour, en outre de Q, la puissance P doit vaincre une résistance R due à la raideur de la corde, c'est-à-dire à l'effort que l'on éprouve pour infléchir cette corde.

Des expériences de Coulomb il résulte que R est inversement proportionnelle au diamètre de la poulie, et qu'on a :

$$R = \frac{1}{D}(A + BQ). \qquad (a)$$

D, diamètre de la poulie ou du tambour en mètres ;
A, quantité ou raideur constante pour une même corde ;
BQ, quantité ou raideur variable proportionnelle à Q.

Morin a conclu :

1° Que pour les cordes en chanvre non goudronnées (*cordes blanches*), sèches ou imbibées d'eau, en bon état, A et B varient à peu près proportionnellement au carré du diamètre de la corde ;

2° Que, pour ces mêmes cordes à demi usées, A et B varient comme les puissances 1,5, c'est-à-dire comme les racines carrées des cubes des diamètres des cordes ;

3° Que, pour les cordes goudronnées, B est proportionnel au nombre des fils de caret de la corde.

Morin a conclu les formules suivantes dans lesquelles n désigne le nombre de fils de caret de la corde :

1° *Cordes blanches :*

$$A = (0{,}000297 + 0{,}000245\,n)\,n, \qquad \text{et} \qquad B = 0{,}000363\,n\,;$$

d'où :

$$R = \frac{1}{D}[(0{,}000297 + 0{,}000245\,n)\,n + 0{,}000363\,nQ] \text{ kilogr.}$$

2° *Cordes goudronnées :*

$$A = (0{,}0014575 + 0{,}000346\,n)\,n, \quad \text{et} \quad B = 0{,}0004181\,n\,;$$

d'où :

$$R = \frac{1}{D}[(0{,}0014575 + 0{,}000346\,n)\,n + 0{,}0004181\,nQ] \text{ kilogr.}$$

Morin, en faisant usage de ces formules, a calculé les résultats du tableau suivant pour une poulie de 1 mètre de diamètre.

NOMBRE DE FILS	CORDES BLANCHES			CORDES GOUDRONNÉES		
	DIAMÈTRE	RAIDEUR CONSTANTE A	RAIDEUR variable B par kilogramme DE LA CHARGE Q	DIAMÈTRE	RAIDEUR CONSTANTE A	RAIDEUR variable B par kilogramme DE LA CHARGE Q
	mètres	kilogr.	kilogr.	mètres	kilogr.	kilogr.
6	0,0089	0,0106038	0,002178	0,0105	0,021201	0,002512092
9	0,0110	0,0225207	0,003267	0,0129	0,041143	0,003769488
12	0,0127	0,0388476	0,004356	0,0149	0,067314	0,005025984
15	0,0141	0,0595845	0,005445	0,0167	0,097712	0,006282480
18	0,0155	0,0847314	0,006534	0,0183	0,138339	0,007538976
21	0,0168	0,1142883	0,007623	0,0198	0,183193	0,008795472
24	0,0179	0,1482552	0,008712	0,0211	0,234276	0,010051968
27	0,0190	0,1866321	0,019801	0,0224	0,291586	0,011308464
30	0,0200	0,2294190	0,010890	0,0236	0,355125	0,012564963
33	0,0210	0,2766159	0,011979	0,0247	0,424891	0,013821456
36	0,0220	0,3282228	0,013068	0,0258	0,500886	0,015077952
39	0,0228	0,3842397	0,014157	0,0268	0,583108	0,016334448
42	0,0237	0,4446666	0,015246	0,0279	0,671558	0,017590944
45	0,0246	0,5095035	0,016335	0,0289	0,766237	0,018847440
48	0,0254	0,5787504	0,017424	0,0298	0,867144	0,020103936
51	0,0261	0,6524073	0,018513	0,0308	0,974278	0,021360432
54	0,0268	0,7304742	0,019602	0,0316	1,087641	0,022616928
57	0,0276	0,8129511	0,020691	0,0326	1,207231	0,023873424
60	0,0283	0,8998380	0,021780	0,0334	1,333050	0,025129920

Application. — Quelle est la résistance due à la raideur d'une corde blanche neuve de $0^m,0254$ de diamètre s'enroulant sur une poulie de $0^m,40$ de diamètre, et élevant un poids de 500 kilogr.

Remplaçant dans la formule (*a*) les lettres A et B par les valeurs du tableau qui correspondent au diamètre de corde $0^m,0254$, on a, en y faisant de plus $D = 0{,}40$ et $A = 500$,

$$R = \frac{1}{0{,}40}(0{,}5787504 + 0{,}017424 \times 500) = 23^{kg},23.$$

Les cordes blanches imbibées d'eau ont une raideur plus grande que lorsqu'elles sont sèches, surtout quand leur diamètre est un peu fort. On diminue la raideur des cordes en les impré-

gnant d'un corps gras ou en les frottant de savon ; mais on diminue aussi leur résistance.

Poulie. — Les poulies, sur les chantiers, ont leur pourtour creusé en *gorge*, afin que le cordage porte convenablement et ne tende pas à s'écarter ; on fait le pourtour de la poulie convexe dans le sens de la largeur, quand on fait usage de cordes plates ou de courroies.

La *poulie fixe* est celle qui ne peut que tourner autour de son axe ; la puissance et la résistance agissent directement en sens contraire sur le cordage qui passe sur son pourtour.

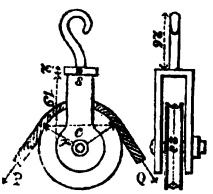


Fig. 90.

Négligeant le frottement de l'axe et la raideur de la corde, pour l'équilibre, la puissance P sera égale au poids à élever, ou mieux à la résistance à vaincre Q. Quant à la pression de la poulie sur son axe ou à la traction de la chape sur son point d'attache, elle n'est autre chose que la résultante de P et Q, et si on la représente par R, on a, en désignant par r le rayon de l'arc formé par l'axe du cordage, et, par c la corde qui sous-tend cet arc :

$$R = P\frac{c}{r}.$$

La *poulie* est *mobile* lorsque, outre son mouvement de rotation autour de son axe, elle prend un mouvement de translation ; l'une des extrémités du cordage est reliée à un point fixe, et la charge ou résistance à vaincre est fixée à la chape dans l'axe de la poulie, et participe à son mouvement de translation. Cette résistance est égale à la résultante des tensions des deux brins du cordage, c'est-à-dire à la pression de la poulie sur son axe ; et, si on la désigne par R, on a, comme dans le cas précédent,

$$R = P\frac{c}{r} \qquad \text{ou} \qquad P = R\frac{r}{c}.$$

Dans le cas où les deux brins du cordon sont parallèles, on a $c = 2r$, et il vient $R = 2P$; ce qui devait être, toujours en négligeant la raideur de la corde et les frottements.

Moufle et palan. — On monte quelquefois deux, trois et même quatre poulies l'une à côté de l'autre dans la même chape ; leur ensemble prend le nom de *moufle*.

Un système composé de deux moufles, sur les poulies desquelles on fait passer un même cordage, prend le nom de *palan* (*fig.* 91).

En négligeant les divers frottements et autres résistances pas-

sives, tous les cordons allant d'un moufle à l'autre ont la même tension, qui est égale à celle du cordon libre, ou *garant*, c'est-à-dire à la puissance P ; or, comme la charge Q ou la résistance à vaincre R est évidemment égale à la somme des tensions de tous les cordons allant d'un moufle à l'autre, si l'on désigne par n le nombre de ces cordons, on a :

$$R = nP, \quad \text{ou} \quad P = \frac{R}{n}.$$

Pour R = 500 kilogr. et $n = 6$, cette formule donne P = 83kg,33. A cause de toutes les résistances passives, il faudrait, dans la pratique, augmenter P d'un tiers environ.

Pendant que la puissance parcourt un espace quelconque, E = Aa, la résistance avance seulement de $\frac{E}{n}$ = Bb.

On conçoit que la puissance P du palan puisse être produite par un second palan dont elle serait la résistance, et obtenir ainsi un effort plus considérable.

Treuil. — On donne ce nom à tout système solide mobile autour d'un axe, et sollicité par une ou plusieurs forces motrices, dites *puissances*, qui tendent à produire le mouvement dans un sens, et par d'autres forces, dites *résistances*, qui s'opposent à ce mouvement sans que, comme pour le levier, toutes ces forces soient situées dans un même plan. Ordinairement chaque force est dans un plan perpendiculaire à l'axe.

Fig 91.

La perpendiculaire commune à l'axe du treuil et à la direction d'une force est le *bras de levier* de cette force, et le produit de la longueur de cette perpendiculaire par l'intensité de la force est le *moment* de cette force.

Le treuil se compose d'un arbre horizontal de 0m,10 à 0m,30 de diamètre, autour duquel s'enroule une corde, dont une extrémité est fixée à cet arbre, tandis qu'à celle restée libre on attache le poids à élever. Cet arbre est retenu à une charpente à l'aide de tourillons et coussinets qui lui permettent de tourner librement, et on lui communique le mouvement à l'aide de manivelles placées à ses extrémités, si la charge est faible, ou au moyen d'une courroie qui passe sur une espèce de poulie montée en un des points de sa longueur, ou avec des bras qui y sont fixés, ou encore, si l'effort à produire est considérable, comme dans la chèvre, avec des barres ou leviers dont on implante successive-

ment, à mesure qu'on le fait tourner, une des extrémités dans des trous qu'il porte.

On substitue le plus souvent la fonte ou le fer au bois dans les treuils.

Le treuil est employé à l'exécution des puits et des travaux souterrains; on fait reposer l'arbre sur des supports, de manière qu'il se trouve dans l'axe du puits et à $1^m,10$ ou $1^m,30$ au-dessus du sol, et on lui imprime le mouvement à l'aide de manivelles ou de petits leviers fixés à ses extrémités. L'extrémité libre du câble est munie d'une esse à laquelle on accroche les seaux, paniers ou *bourriquets* dans lesquels on place les matériaux à descendre ou à monter.

Les constructeurs de puits se servent d'un treuil formé d'un *boulin* ou *moriset*, aux extrémités duquel ils fixent des manches en bois de cornouiller qui servent de leviers; ils font reposer l'arbre qui ne porte pas de tourillons sur des supports fixés de chaque côté de la fouille, et formés avec des *plats-bords* que l'on entaille à leur partie supérieure pour recevoir l'arbre et servir de coussinets; on empêche le treuil de sortir de ces entailles à l'aide de plaques de tôle clouées sur des plats-bords en entourant les parties frottantes.

Comme pour le levier, pour qu'un treuil sollicité par un nombre quelconque de forces soit en équilibre statique, c'est-à-dire dans un tel état que la moindre augmentation de puissance ou de son bras de levier produise le mouvement, il suffit que la somme des moments des puissances soit égale à la somme des moments des résistances. Ainsi, pour le cas du treuil ordinaire, désignant par P la puissance, par p son bras de levier, c'est-à-dire le rayon de la manivelle ou de la roue, ou la longueur du levier que sollicite P, par R la résistance ou le poids de la corde, du panier et de la charge, et par r le bras de levier de R ou le rayon de l'arbre du treuil augmenté du rayon de la corde, on a pour l'équilibre, en négligeant la raideur de la corde et le frottement des tourillons,

$$P \times p = R \times r;$$

d'où:

$$P = R\frac{r}{p}, \quad R = P\frac{p}{r}, \quad p = r\frac{R}{P} \quad \text{et} \quad r = p\frac{R}{P},$$

formules qui permettent de calculer l'une des quantités P, R, p et r, les trois autres étant connues.

Soit, par exemple, à déterminer le poids que pourra élever un homme en agissant sur un levier, à la distance de $1^m,60$ de l'axe du treuil, le rayon de l'arbre plus celui de la corde étant de $0^m,20$.

L'effort de l'homme agissant sur un levier étant en moyenne de 30 kilogr., remplaçant P par cette valeur dans la deuxième

des formules précédentes, et faisant $p = 1^m,60$, et $r = 0^m,20$, on a :

$$R = 30 \frac{1,60}{0,20} = 240 \text{ kilogr.}$$

Ainsi, en négligeant la raideur de la corde et le frottement des tourillons, le poids utile élevé serait de 240 kilogr., moins le poids de la corde et du seau ou du panier. Pour des efforts considérables, le rayon de la corde étant très grand, on pourra tenir compte de la raideur d'après ce qui a été dit p. 339.

Treuil chinois ou différentiel. — Dans ce système (*fig.* 92) un côté de la corde se déroulant pendant que l'autre s'enroule, le fardeau ou la résistance R n'avance, par tour de treuil, que d'une quantité égale à la différence des circonférences ayant pour rayons ceux des deux parties du treuil augmentés du rayon de la corde.

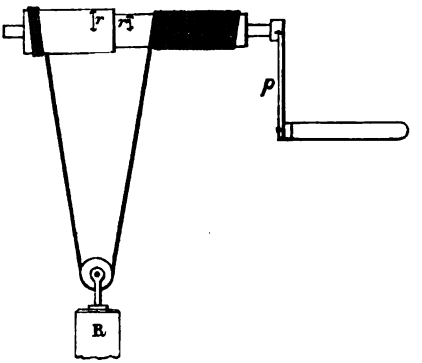


Fig. 92.

Appelant P la puissance, p son bras de levier, c'est-à-dire la longueur du rayon de la manivelle ou du levier sur lequel agit P, R la résistance, et r et r' les rayons des deux parties de l'arbre du treuil augmentés de celui de la corde, on a, en négligeant la raideur de la corde et les frottements,

$$P \times p + \frac{R}{2} r' = \frac{R}{2} r ;$$

d'où :

$$P = R \frac{r - r'}{2p}, \quad R = P \frac{2p}{r - r'}, \quad p = (r - r') \frac{R}{2P} \text{ et } r - r' = p \frac{2P}{R}.$$

Comme on peut rendre la différence $r - r'$ aussi petite qu'on le veut, la valeur précédente de R fait voir que, dans la limite de la résistance des matériaux, ce treuil peut servir à soulever un fardeau d'un poids aussi considérable que l'on veut; on l'utilise pour l'extraction des pilots. On établit des cabestans fondés sur le principe du treuil chinois.

Cabestan. — Cette machine est un treuil dont l'arbre est vertical et porte une tête percée de trous ou *amolettes*, qui reçoivent des barres ou leviers, et enroulent la corde en faisant avancer le

fardeau attaché à son extrémité. Les tourillons de l'arbre sont retenus dans des collets fixés à une charpente disposée à cet effet.

Les conditions d'équilibre sont les mêmes que pour le treuil.

Chèvre. — Cette machine est composée (*fig.* 93) de deux pièces de bois (*bras*), formant entre elles un angle aigu, et dont on maintient l'écartement par plusieurs entretoises qui s'y assemblent à tenons et mortaises. Les bras portent les coussinets d'un treuil placé à $1^m,6$ du pied de la chèvre ; l'arbre de ce treuil est garni de parties carrées dans lesquelles sont percés des trous destinés à recevoir les bouts des leviers servant à la manœuvre. A la partie supérieure de la chèvre se trouve une poulie tournant sur un boulon, qui relie en même temps les bras en les traversant de part en part. La partie déroulée du câble du treuil vient passer sur la poulie, et à son extrémité on attache le fardeau à monter ou à descendre.

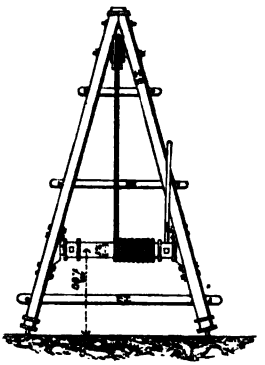


Fig. 93.

Les entretoises sont espacées de $0^m,90$ environ, ce qui forme une échelle permettant de monter au sommet de la chèvre.

Pour se servir de la chèvre, on la place dans une position inclinée, et on l'y maintient à l'aide de trois cordages qui partent de son sommet et vont s'amarrer à des objets environnants fixes. Les deux cordages disposés pour empêcher la chèvre de tomber en avant se nomment *haubans ;* le troisième, que l'on dispose en sens contraire des deux premiers, pour éviter le renversement de la chèvre, s'appelle *contre-hauban.*

Le treuil des chèvres est quelquefois commandé par des engrenages que l'on fait mouvoir à l'aide de manivelles ; à cause de leur simplicité, les chèvres à leviers sont les plus employées. Les treuils à leviers en fer (voir p. 342), auxquels on adapte un déclic, sont d'une grande puissance et d'une manœuvre facile ; cette disposition, empêchant les fardeaux de redescendre tout à coup, quand on les élève, évite des accidents.

On remplace souvent les treuils des chèvres par la machine Grondar, à chaîne continue, mais son prix est élevé.

Pour équiper une chèvre, on pose ses deux bras dans leur position relative, sur le sol ou le plancher sur lequel on doit la dresser en faisant pénétrer les tenons des entretoises dans leurs mortaises et les tourillons du treuil dans leurs coussinets ; on serre les liens et les boulons qui relient le haut des bras, et l'on met

en dehors des bras les chevillettes des tenons d'entretoises. Alors on fixe la poulie, on enroule le câble sur le treuil, en laissant passer le bout libre sur la poulie, et l'on attache les haubans et le contre-hauban au sommet de la chèvre. On procède alors au dressage. Deux hommes se placent sur les pieds de la chèvre et les maintiennent sur le sol, pendant que d'autres dressent la chèvre en agissant près de son sommet et en s'avançant vers les pieds à mesure qu'elle s'élève, en tirant sur les haubans ou sur des cordes provisoires, quand on peut leur donner une direction de bas en haut.

On amarre les haubans et le contre-hauban à des objets offrant une garantie de résistance (trumeaux de bâtiments, balcons, barres d'appuis de croisée, etc.). Quand on ne trouve pas d'endroits solides, on les amarre à des pieux de 1 mètre à $1^m,20$ de long, enfoncés dans le sol ou scellés dans de forts patins en plâtre (*fig.* 96); on incline ces forts piquets de manière que la partie libre fasse au moins un angle droit avec la direction du hauban, afin que celui-ci ne tende pas à les quitter en se soulevant. Pour une hauteur de chèvre de 4 mètres à $4^m,50$, les points d'amarrage ne doivent pas se trouver à moins de 7 à 8 mètres de la chèvre, quand ils sont au niveau des pieds de celle-ci, ce qui correspond à un angle de 30° du câble avec l'horizon; l'inclinaison de la chèvre du côté où elle prend les fardeaux ne doit jamais dépasser 1/5 de sa hauteur. On doit tendre modérément les câbles.

La charge qu'on peut élever avec la chèvre peut se calculer en remarquant que, dans le treuil de la chèvre, il existe entre la puissance et la résistance les relations ordinaires du treuil (p. 343); la résistance R est le poids élevé, abstraction faite de la raideur de la corde s'enroulant sur la poulie et du frottement de celle-ci sur son axe.

Chèvre à pied. — Lorsqu'on n'a pas besoin d'une grande hauteur, on se sert d'une chèvre s'appuyant sur un troisième pied appelé *bicoque* ou *pied de chèvre*, de manière à se tenir debout sans hauban, ce qui est surtout avantageux dans les circonstances où il est difficile de trouver des points d'amarrage (*fig.* 95).

Chevrette. — A défaut de chèvre, on fait usage d'un ensemble de trois poutrelles réunies fortement à leur partie supérieure à l'aide de cordages, ou mieux d'un boulon qui les traverse, et dont on écarte les pieds de manière qu'ils occupent sur le sol à peu près les sommets d'un triangle équilatéral. Au sommet de cette chevrette, on suspend une corde à laquelle on attache la chape de la poulie sur laquelle passe le câble qui sert à élever les matériaux ; ce câble se manœuvre à la main; on a recours à un palan quand la grandeur des efforts l'exige.

Grue. — La chèvre est une simplification de la *grue;* mais on lui donne la préférence à cause de son prix moins élevé et de sa

facilité de transport. La grue ne s'emploie qu'à demeure permanente, dans les entrepôts, les gares, etc.

Sapine. — On nomme ainsi une grue pour monter les matériaux (*fig.* 94) composée d'une grande pièce de sapin qui atteint le sommet des murs à élever; son pied est armé d'un pivot mobile dans une crapaudine fixée sur une pièce de bois placée sur le sol, et son sommet porte un fort goujon qui peut tourner dans un collier en fer maintenu par des haubans. La sapine peut tourner horizontalement, tout en restant dans une position verticale, ce qui permet d'élever les matériaux en les faisant passer à côté des obstacles, et de les déposer directement sur les échafaudages ou sur les murs; elle porte, à 1^{m},60 ou 1^{m},80 de son sommet, deux pièces de bois transversales qui l'embrassent, qui se relèvent un peu du côté où l'on doit élever les matériaux, et qui sont reliées à leurs extrémités par de forts boulons servant d'axes à des poulies. Une troisième poulie est fixée à la partie supérieure de la sapine, qui est percée d'un trou pour la recevoir. Un câble ou une chaîne en fer passe sur ces trois poulies et vient ordinairement se fixer par une extrémité à la traverse, derrière la poulie d'avant, de manière à recevoir une poulie mobile à la chape de laquelle on accroche les charges à élever. Le câble ou la chaîne s'enroule par son autre extrémité sur un treuil solidement fixé au sol ou contre le pied de la sapine, et que l'on manœuvre au moyen de manivelles ou de leviers.

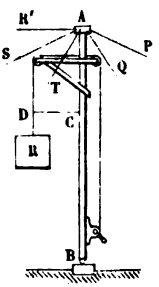


Fig. 94.

Sur deux côtés opposés de la sapine sont implantées des tiges rondes en fer formant une espèce d'échelle de perroquet, qui permet de monter au sommet de la machine. Les échelons d'une même face sont espacés de 0^{m},65 ; on les fait correspondre au milieu des espaces verticaux qui séparent les échelons de l'autre côté.

Les haubans, au nombre de 4 ou 5, s'amarrent comme pour la chèvre.

On remplace l'ancienne sapine par un appareil désigné également sous le nom de sapine (*fig.* 97) et qui est formé de quatre grandes pièces de bois de sapin s'élevant à 2 mètres au-dessus de l'édifice à construire, et dont l'équarrissage au gros bout doit être de 0^{m},35 sur 0^{m},35 pour une longueur de 20 mètres. Ces pièces sont scellées dans le sol aux sommets d'un rectangle ayant 3 mètres sur 2 mètres pour une sapine de 20 mètres de hauteur, le grand côté de ce rectangle étant placé parallèlement à l'édifice. Chaque pièce est reliée à ses voisines, sur toute sa hauteur, par 4 croix de Saint-André de 5 mètres de long, en

fortes planches, et par des traverses, le tout boulonné sur le cadre formé par les traverses reliant les sommets des quatre poteaux; on pose deux poutrelles, entre lesquelles on place la poulie sur laquelle passe un câble ou une chaîne manœuvrée par un treuil, ou une machine Grondar, fixé au pied de l'appareil, comme pour la sapine simple ou pour la chèvre.

Les poteaux maîtres sont garnis, de bas en haut, d'*échantignoles* en bois ou de tiges en fer, lesquelles font office d'échelons.

Fig. 95.

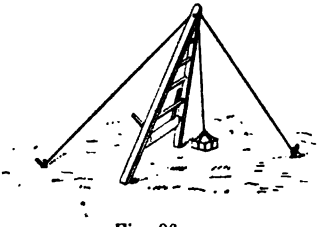


Fig. 96.

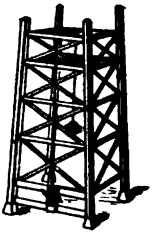


Fig. 97.

On fixe aux deux poteaux voisins de l'édifice une traverse horizontale, sur laquelle on place des plats-bords, dont l'un des bouts repose sur la maçonnerie; ce qui constitue un chemin solide, qu'on établit à toute hauteur, et qui permet de décharger et de manœuvrer les matériaux avec sécurité.

Pour la construction des ponts, la sapine est remplacée par un *chemin de fer truc* supporté par les cintres du pont et allant d'une culée à l'autre. Sur ce chemin de fer se meut un chariot à treuil en fonte, à l'aide duquel on élève, transporte et descend les matériaux.

Les treuils dont on fait usage le plus souvent pour les sapines sont manœuvrés au moyen de deux leviers en fer de $1^m,70$ de long. La partie du treuil sur laquelle s'enroule la chaîne a $0^m,88$ de long et $0^m,22$ de diamètre ; elle est en bois et traversée par un arbre de fer portant les tourillons, ou mieux en fonte. A chacune des extrémités de cet arbre sont fixées deux roues à rochet, et articulé librement l'un des leviers en fer. Un cliquet pénètre entre les dents d'un des rochets, de manière à permettre le mouvement du treuil dans un sens et à le rendre impossible dans l'autre ; un second cliquet, articulé sur le levier même, court sur le second rochet quand on lève le levier, et il l'entraîne ainsi que l'arbre du treuil quand on abaisse le levier. A chaque oscillation du levier, on fait tourner le treuil et, par suite, monter la charge. Si la charge est considérable, les deux leviers montent et s'abaissent ensemble; dans le cas contraire, un levier monte pendant que l'autre s'abaisse, et la vitesse de

l'appareil est doublée. Chaque levier est manœuvré par deux hommes, qui le font osciller d'une certaine quantité au-dessus et au-dessous de la position horizontale. Comme les articulations des leviers, c'est-à-dire l'axe du treuil, sont à $0^m,60$ au-dessus du sol, les hommes les font baisser en s'aidant du poids de leurs corps, et produisent un grand effort, auquel s'ajoutent encore les poids des leviers.

On peut augmenter la puissance, en montant aux extrémités de l'arbre du treuil des roues d'engrenage commandées par des pignons disposés sur un second arbre parallèle au premier ; c'est sur ce second arbre que sont fixés les rochets et articulés les leviers.

Il est bon de faire le support du treuil en fer : la fonte craignant les chocs, et le bois étant encombrant au pied de la sapine.

Sur les grands chantiers on a, pour accélérer le montage des petits matériaux, substitué au treuil des sapines une simple poulie de renvoi sur laquelle passe le câble, à l'extrémité duquel on attelle un ou deux chevaux.

Cric. — Il est formé d'un fort madrier en bois dur, dit *chape de cric*, de $0^m,70$ à $1^m,20$ de longueur, sur $0^m,20$ à $0^m,30$ de largeur et $0^m,10$ à $0^m,15$ d'épaisseur, tout bardé de fer, d'où il sort, par une de ses extrémités et dans le sens de son axe, une crémaillère en fer qui glisse dans une rainure intérieure (*fig.* 98).

A la partie inférieure, le corps de la crémaillère se recourbe pour sortir latéralement à la chape, du côté opposé à la manivelle. Cette partie recourbée, qui peut descendre à environ $0^m,10$ du sol, sert à soulever les objets qui n'offrent des points de prise que très bas. A la partie supérieure, la crémaillère est armée d'un croissant en fer dont les pointes, en pénétrant légèrement dans les pièces qu'on soulève, les empêchent de glisser.

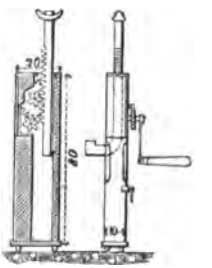


Fig. 98.

La crémaillère est mise en mouvement par une manivelle dont l'arbre traverse la chape à peu près aux 2/3 de sa hauteur.

Quand le pignon qui commande la crémaillère est monté directement sur l'arbre de la manivelle, le cric est *simple ;* il est *composé*, lorsque le mouvement de la manivelle se transmet à la crémaillère par l'intermédiaire de plusieurs pignons et d'une ou plusieurs roues d'engrenage, le tout enfermé dans le corps de la chape ; cette dernière disposition permet de soulever des charges plus grandes.

Le dessous du cric est armé de deux pointes en fer, qui, en pénétrant dans le sol ou dans tout autre point d'appui, s'opposent

au glissement. On munit l'arbre de la manivelle, au contact de la face extérieure de la chape, d'un rochet dans les dents duquel entre l'extrémité d'un cliquet poussé par un ressort. Cette disposition permet de lâcher la manivelle quand on veut se reposer ou vérifier l'état de la pièce soulevée, sans que la charge retombe avec fracas. Si l'on veut descendre le fardeau, il suffit de lever le cliquet en agissant sur la manivelle, et de laisser tourner lentement celle-ci en sens contraire.

La crémaillère est quelquefois remplacée par une vis commandée par un pignon à dents héliçoïdales.

Pour soulever un fardeau, on fait reposer le pied du cric sur le sol ou sur un autre point d'appui résistant ; on place la tête de la crémaillère ou son crochet inférieur sur l'objet à soulever, en interposant une cale de $0^m,04$ ou $0^m,05$, quand la surface est sujette à se détériorer, et, tournant la manivelle, on soulève le fardeau.

Pour calculer l'effort qu'on peut produire avec cette machine, on se base sur ce que, abstraction faite de tous les frottements, pour le cric simple, la puissance est à la résistance comme le rayon du pignon est à celui de la manivelle, et que pour le cric composé, la puissance est à la résistance comme le produit des rayons des pignons est à celui des rayons des roues de la manivelle. Ainsi, la puissance agissant sur la manivelle d'un cric composé étant 30 kilogrammes, le rayon de cette manivelle $0^m,20$, celui de la route $0^m,12$, et ceux des pignons $0^m,03$ pour celui qui s'engrène avec la crémaillère, et $0^m,04$ pour celui qui est monté sur l'axe de la manivelle, on a, R étant la résistance,

$$30 : R = 3 \times 4 : 20 \times 12 \text{ ; d'où } R = \frac{30 \times 20 \times 12}{3 \times 4} = 600 \text{ kilogr.}$$

Les frottements pourraient diminuer de 1/3 cette valeur de R.

Brouette. — La *brouette ordinaire à coffre* (*fig.* 99) est employée pour transporter les terres, les sables, le mortier et les matières menues ; sa contenance varie de 1/20 à 1/30 de mètre cube ; souvent les matières y sont maintenues par une petite planche de $0^m,10$ à $0^m,15$ de hauteur, placée sur le devant. Une brouette vide pèse de 22 à 25 kilogr., et permet à un homme de transporter une charge de 90 ou 100 kilogr. Elle coûte de 10 à 15 francs. On consolide le plus souvent les pieds de la brouette à l'aide de petites jambes de force, qui les relient aux brancards. Pour les terrassements principalement, on substitue souvent à la brouette précédente, dite *française*, la *brouette anglaise*, dont la caisse est plus évasée de l'avant à l'arrière et du fond aux bords supérieurs, ce qui facilite son déchargement, et dont les brancards, au lieu d'être parallèles ou légèrement inclinés, sont espacés intérieurement de $0^m,56$ aux poignées et de $0^m,21$ à l'axe de la roue, ce qui diminue

le balancement des bras de l'ouvrier pendant la marche. Cette **brouette** cube de 1/15 à 1/20 de mètre cube; elle pèse de 20 à 25 kilogr. et elle coûte de 12 à 16 francs.

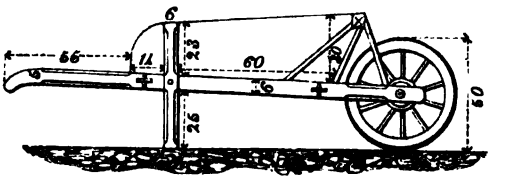


Fig. 99.

La *brouette à barres* est employée au transport des moellons, meulières, etc. La forme du brancard est la même que pour la brouette à coffre, mais il n'y a pas de caisse; un fond et un dossier à claire-voie en bois servent simplement à supporter et à soutenir les moellons, qui sont alors plus faciles à décharger, soit à la main, soit en les versant, que si l'on faisait usage de la brouette à coffre.

La *brouette de mesure* est employée pour le dosage des matières qui doivent entrer dans la composition du mortier ou du béton; elles sont fermées sur les quatre côtés, et leur contenance varie de 50 à 80 litres; celles qui servent à doser les petites pierres à béton ont leur fond percé de trous quand il est en planches, et on le forme souvent d'un simple grillage en tringles de fer, afin de faciliter l'écoulement de l'eau jetée sur les cailloux pour les laver.

La *brouette normande*, qui sert au transport des lourds fardeaux, est une brouette à barres, de grande dimension, reposant sur deux pieds et deux ou trois roues. Ses deux bras ont 2 à 3 mètres de long, et un homme, en passant sur ses épaules une bricole croisée, dont les bouts sont fixés aux deux bras de la brouette peut transporter une charge quatre fois plus grande qu'avec la brouette ordinaire. La grande longueur des bras permet à plusieurs hommes d'agir simultanément. On fait aussi des brouettes en tôle, plus légères que celles en bois.

Construction des brouettes. — Les meilleurs bois pour brouettes sont le saule rouge, l'orme et le bois blanc.

Afin d'empêcher les tourillons de la roue d'user promptement les trous faits dans les bras pour les recevoir, on encastre à queue d'aronde dans chaque bras, à l'endroit de ces trous, un morceau de frêne imprégné d'huile bouillie, ayant moitié de l'épaisseur du bras, et dont les fibres sont verticales. La face intérieure des bras, opposée au morceau de frêne, est garnie d'une plaque en tôle pour résister au frottement du moyeu de la roue.

Relais. — Comme un ouvrier ne peut parcourir qu'un certain espace avec une brouette chargée sans se reposer, quand on a une grande quantité de matières à transporter à une certaine distance, on divise cette distance en plusieurs relais desservis chacun par un ouvrier. Un premier ouvrier conduit au bout du premier relais la brouette que viennent de remplir des hommes; là, il la donne à un deuxième rouleur, et il ramène aux chargeurs la brouette vide que ce deuxième rouleur a laissée pour conduire la brouette chargée à l'homme qui parcourt le troisième relais, et ainsi de suite. La distance de 30 mètres est celle qu'on adopte pour un relais dans les grands travaux de terrassement, ce qui fait 60 mètres pour l'allée et la venue. Le temps que met le rouleur pour parcourir ces 60 mètres est à peu près celui qu'emploie le chargeur pour remplir une brouette de $0^{mc},04$ à $0^{mc},05$ de capacité.

Civière ou bard. — Quand on doit gravir des rampes trop rapides pour pouvoir rouler les matériaux à la brouette, on se sert d'une civière formée de deux petits brancards réunis en leur milieu, sur une certaine longueur, par des petites planches non jointives sur lesquelles on place les matériaux. Deux hommes la portent, et, selon la charge, on peut en adjoindre quatre autres qui se placent à côté des premiers, en dehors du bard. Ce mode est employé sur les grands chantiers pour transporter les moellons piqués ou les pierres de taille qui ne sont pas d'un grand poids; on en fait usage pour décharger les bateaux de meulières ou de moellons qui sont livrés sur les ports de Paris.

Camion, tombereau, wagon, wagonnet. — Le camion est un petit tombereau léger à deux roues, auquel s'attellent deux hommes pour transporter les matériaux sur un même chantier ou d'un chantier à l'autre. La capacité de la caisse est de 1/3 de mètre cube. Le camion est employé pour les corvées et les petites réparations.

Camion à flèche du département de la Seine

Diamètre des roues.	$1^{m},25$
Distance des roues à l'intérieur des jantes.	1 ,05
Caisse à l'intérieur : longueur $1^{m},30$, largeur $0^{m},73$, profondeur $0^{m},37$. Chargement.	$0^{mc},35$
Longueur de la flèche, depuis le devant de la caisse.	$1^{m},32$
Distance de l'attèle au-devant de la caisse.	1 ,09
Hauteur du dessous de la flèche, supposée horizontale, au-dessous du sol.	0 ,64
Longueur de l'attèle.	0 ,99
Poids du camion.	$310^{k},00$
Prix moyen	$150^{f},00$

Des crochets fixés contre le châssis et contre la flèche servent à fixer des bricoles que les traîneurs se passent en écharpe pour

faciliter la traction ; l'attèle sert à guider le camion. Dans les camions ordinaires la flèche est remplacée par deux brancards qui se trouvent à environ 0m,95 au-dessus du sol ; c'est en augmentant le diamètre des roues qu'on obtient cet exhaussement des brancards.

Sur les grands chantiers, dès que la distance de transport varie de 60 à 90 mètres, il y a avantage à se servir du camion.

Le mode de transport le plus avantageux en plaine, jusqu'à 60 mètres, est la brouette, puis la civière, la hotte et le panier ; de 60 à 150 mètres, c'est le camion ; de 150 à 500 mètres, le tombereau à un cheval ; de 500 à 3.500 mètres, le tombereau à deux chevaux, et au delà la voiture à trois chevaux. Pour des volumes considérables de déblais, on fait usage de la brouette pour les distances de transport de moins de 100 mètres ; du tombereau, pour celles de 100 à 500 mètres ; de wagons traînés par des chevaux, pour celles de 500 à 2.000 mètres ; et de wagons remorqués par des locomotives, pour des distances de 2.000 mètres et au dessus.

Dans le percement des tunnels on fait usage, pour mener les déblais aux puits d'extraction, de petits *wagonnets* cubant 0mc,25 ; ils roulent sur des petits chemins formés de deux bandes de fer posées à plat sur des longrines ; ces bandes sont espacées intérieurement de 0m,50.

Oiseau. — Pour transporter le mortier et principalement pour le monter à l'aide d'échelles, on se sert d'un *oiseau* ou *volée*, formé de deux planches disposées à angle droit et maintenues dans cette position par quatre barres de bois (*fig.* 100). Deux de ces barres font saillie de 0m,40 à 0m,50 environ sur le sommet de l'angle droit ; ces saillies sont taillées pour recevoir le cou de l'ouvrier, qui les met à califourchon sur ses épaules, et les bouts sont arrondis en poignées, que l'ouvrier tient dans ses mains quand il porte l'oiseau.

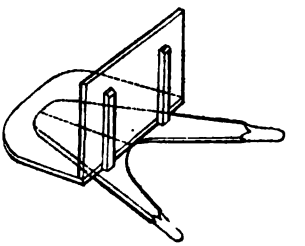


Fig. 100.

Pour remplir l'oiseau, le garçon le pose à une hauteur un peu inférieure à ses épaules, sur un chevalet destiné à cet usage.

Coulotte. — Pour les travaux exécutés en contre-bas du sol, les garçons amènent le mortier au bord de la fouille à l'aide de brouettes qu'ils versent dans des trémies formées de deux planches clouées l'une sur l'autre à angle droit ; ces espèces d'auges, appelées *coulottes*, arrivent jusqu'au bas de la fouille, où elles amènent le mortier dans des baquets ou des auges placés à proximité des maçons.

Rouleaux ou roules. — On nomme ainsi les petites pièces de bois à section circulaire qu'on place sous les pierres pour en faciliter le déplacement ou le transport à de petites distances. Les rouleaux servent aussi dans le montage des pierres à une certaine hauteur et dans la descente, en établissant avec des plats-bords un plan incliné sur lequel on fait avancer les pierres en les poussant avec l'épaule et en les tirant à bras avec des cordes qui peuvent, au besoin, s'enrouler sur un treuil. Lorsqu'il s'agit de la descente, on modère le mouvement avec un treuil, ou à l'aide d'une corde qui passe sur un pieu de retenue et qu'un ouvrier laisse couler doucement.

Afin de pouvoir changer la direction du mouvement, le diamètre des rouleaux diminue depuis le milieu jusqu'aux extrémités ; cette précaution fait que, la pierre portant vers son milieu, ses arêtes sont moins sujettes à s'écorner ; c'est pour éviter cet inconvénient que, souvent, on ne place les pierres sur les roules que par l'intermédiaire d'un madrier qui avance avec ces pierres.

Les dimensions des rouleaux varient selon la grosseur des pierres à manœuvrer ; le plus souvent ils ont de $0^m,06$ à $0^m,07$ de diamètre et de $0^m,60$ à $0^m,70$ de longueur.

Pour transporter les pierres, on établit un chemin en planches ou en plats-bords ; sans cette précaution, les inégalités du sol, en calant à chaque instant les rouleaux, rendent la manœuvre très difficile. Ces plats-bords sont indispensables quand on fait avancer les pierres sur un mur en construction.

Chariot, diable, binard. — Le *chariot* est une voiture basse, à deux roues. Elle est composée : 1° d'une grande pièce de bois formant flèche ou limon, à laquelle deux autres pièces de bois parallèles sont reliées par des barres qui les traversent toutes les trois ; 2° d'un plancher en madriers qui repose sur ces trois pièces, et dont le plan s'élève au-dessus des roues, afin que les pierres ne touchent pas celles-ci pendant le chargement ou le roulement : 3° d'un essieu garni de ses roues. La flèche ne porte pas sur l'essieu, afin de ne pas le charger vers son milieu ; des fourrures en bois de champ, placées sous les pièces parallèles, font reposer tout le système sur l'essieu. Pour éviter que la flèche porte sur l'essieu par suite de flexion des planches sous de fortes charges, on la relie aux pièces parallèles par des armatures en fer placées aux extrémités du plancher.

Pour faire le chargement, on soulève la flèche, de manière que le derrière du chariot touche à terre au pied de la pierre qu'on a dressée sur l'une de ses faces ; alors on cale les roues, et l'on renverse la pierre sur le plancher du chariot, en ayant soin de placer des torches de paille ou des paillassons tressés sur les faces qui portent ; puis, abaissant la flèche en maintenant la pierre sur le plancher, elle se trouve chargée sur le derrière du chariot ;

on la fait avancer jusqu'au point qu'elle doit occuper sur le plancher, en frappant avec secousses et à plusieurs reprises le limon par terre. On conduit alors la pierre au lieu où elle doit être employée, et l'on procède à son déchargement; on place à terre des torches pour la recevoir, ainsi qu'une petite pierre qu'on dispose de manière qu'elle se trouve sous le milieu de la face qui doit reposer, afin de réserver des prises pour manier le bloc; puis, après avoir calé les roues, on lâche la flèche jusqu'à ce que le derrière du chariot porte à terre ; on fait descendre la pierre, on décale les roues, et avec des pinces ou des leviers on les fait avancer de manière à dégager le chariot de dessous la pierre, que l'on fait tomber sur les paillassons et la petite pierre.

Il arrive souvent qu'on prend directement les pierres sur le chariot avec la chèvre, la sapine ou tout autre appareil qui les monte immédiatement.

Le chariot s'emploie pour le transport des pierres de gros volume ; il est traîné par 6 hommes et le *pinceur*, et souvent un cheval est attelé en avant de la flèche.

Le *diable* est un petit chariot pour le transport des pierres d'un petit volume ; il est traîné par 2 à 4 hommes et le pinceur.

Le *binard* est un chariot bas à 4 roues muni d'un brancard ; il sert au transport des pierres d'un fort volume, et il est traîné par 1 à 3, et parfois jusqu'à 5 chevaux.

Pour charger le binard, au lieu de basculer son plancher, on place sur le derrière deux forts plats-bords dont une extrémité repose sur le sol, ce qui forme un chemin incliné sur lequel les pierres se déplacent facilement.

On fait usage aussi du binard Labouret, dont le plancher est garni d'un système de rails ou d'un système de rouleaux sur lequel repose un second plancher retenu par une chaîne s'enroulant sur un treuil placé à l'avant du binard. Les pierres sont chargées sur le second plancher, et quand on arrive sur l'atelier, on n'a qu'à incliner le binard et à lâcher le treuil, pour que ce plancher descende sur le sol, où il est facile de le décharger. Avec des chariots à deux roues d'un grand diamètre, on fait usage d'un plancher indépendant, que l'on suspend en dessous de l'essieu pour le transport ; le chargement et le déchargement sont ainsi rendus faciles, puisqu'ils se font quand le plancher repose sur le sol et qu'on en a éloigné le chariot.

Transport de l'eau. — Les seaux pour transporter l'eau sur les chantiers sont en bois très fort et cerclés en fer ; leur contenance est de 20 à 22 litres.

Quand on puise l'eau à de trop grandes distance des chantiers pour qu'il soit possible de la transporter économiquement avec des seaux, on fait usage d'un tonneau de 130 à 150 litres placé sur un brancard à deux roues, qui peut être traîné par 2 hommes.

Sur les grands chantiers, on emploie des tonneaux d'une grande contenance, traînés par des chevaux.

Quand le travail est important, il peut y avoir avantage à établir un puits auquel on adapte une pompe, ou à prendre une concession momentanée, si l'on se trouve dans une ville à distribution d'eau.

Chemins de fer. — Dans les chantiers importants on fait usage pour transporter les matériaux de petits chemins de fer à voie étroite démontable, qui s'installent et se démontent rapidement (Voir, p. 394).

Outils pour tailler la pierre. — Les calcaires durs se taillent avec le *têtu*, le *ciseau*, la *gradine*, la *pioche*, le *poinçon*, le *marteau bretté* ou *laye*, la *boucharde* et la *ripe*. Pour les pierres calcaires tendres, on fait usage du *ciseau*, de la *pioche à pierre tendre*, du marteau *rustique* et du marteau *tranchant;* mais le plus souvent la taille des calcaires tendres se fait sans ciseau. On termine les parements à la *ripe*.

Les marbres et les calcaires très durs, les granits, les laves, les basaltes, les grès, sont taillés à la *pointe*.

On se sert quelquefois, pour tailler les grès, du marteau dit *epinçoir*, que l'on emploie pour fendre les grès, en étonnant la masse par des petits coups de ce marteau frappés dans une direction déterminée, résultat qu'on obtient également avec la pointe.

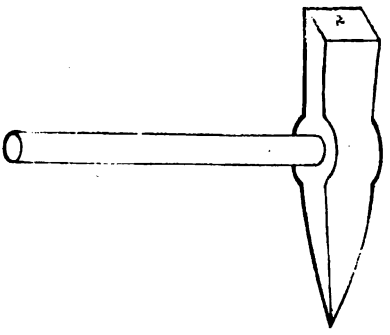


Fig. 101.

Le *têtu* (*fig.* 101) est un lourd marteau en fer aciéré, qui porte une tête carrée d'un côté et une pointe de l'autre pour dégrossir les pierres quand elles sont très irrégulières et qu'il y a beaucoup d'abatage.

Les *ciseaux* (*fig.* 102) sont des morceaux d'acier ou de fer aciéré à l'extrémité, de forme cylindrique ou prismatique, dont le diamètre varie de $0^m,01$ à $0^m,02$, et la longueur de $0^m,15$ à $0^m,20$, et qui sont aplatis à une extrémité, de manière à former un tranchant, que l'ouvrier affûte au fur et à mesure qu'il s'arrondit, et fait rebattre à chaud quand il est usé.

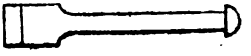


Fig. 102.

Les *gradines* sont des ciseaux dont le tranchant est denté; on les emploie pour tailler des pierres très dures; pour les pierres tendres les ciseaux à tranche large sont préférables.

Les *poinçons* sont des ciseaux ronds ou carrés, dont le tranchant est remplacé par une simple pointe ; ils servent pour refouillements et percements de trous.

On se sert des ciseaux, gradines et poinçons en appliquant leur tranchant ou leur pointe sur la pierre, et en frappant sur leur tête avec un maillet en bois ou en fer.

La *pioche à pierre dure* (*fig.* 103) est un marteau en fer terminé par des pointes aciérées à quatre pans.

La *pioche à pierre tendre* a presque la même forme; l'une des pointes est remplacée par un tranchant de $0^m,03$ ou $0^m,04$ de largeur, et l'autre par une *herminette* de même largeur. L'herminette est une hachette recourbée, à tranchant perpendiculaire au manche, et qui sert à planer et doler le bois.

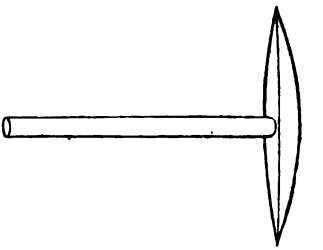


Fig. 103.

Marteau bretté ou *laye.* — C'est un marteau dont les extrémités, aplaties dans le sens parallèle au manche, forment des tranchants qui sont découpés en dents; cette disposition facilite le dressage des parements. Pour les pierres tendres, le marteau n'est bretté que d'un côté, l'autre tranchant reste uni (*fig.* 104).

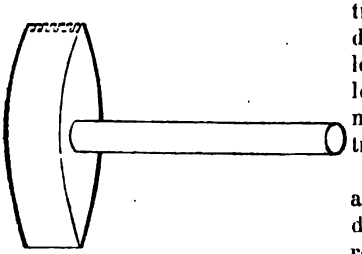


Fig. 104.

Le marteau bretté est l'outil au moyen duquel on finit de dresser les parements des pierres. Une pierre dressée au marteau bretté est dite *layée.*

Le *rustique* a la même forme que le marteau bretté ; mais les intervalles des dents sont beaucoup plus grands, et ont ordinairement $0^m,005$ ou $0^m,006$.

La *ripe* (*fig.* 105) est une tige en fer dont les extrémités sont recourbées en sens opposés et portent des tranchants en acier, dont l'un est denté, et l'autre uni. L'ouvrier passe le côté denté sur les parements des pierres pour en effacer les inégalités laissées par le marteau bretté, puis il termine la taille avec le tranchant uni.

Fig. 105.

La *boucharde* est un marteau dont les têtes sont carrées et taillées en pointes de diamant (*fig.* 106), qui représente dans sa moitié

des pointes déjà usées. L'ouvrier frappe du plat de ses têtes les parements dégrossis à la pioche, de manière à en détacher les aspérités.

Sur différents travaux hydrauliques, les parements des pierres sont terminés au moyen de la boucharde fine, avec laquelle on les frappe entre quatre ciselures régulières qui forment les arêtes des pierres. A Paris, les parements des pierres sont layés, c'est-à-dire dressés au marteau bretté, puis passés à la ripe. Les parements bouchardés ne s'écaillent à la gelée que quand les pierres ne sont pas d'une grande dureté.

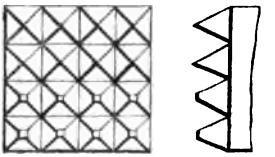


Fig. 106.

On se sert de la boucharde pour dégrossir les parements, dont on enlève ensuite les aspérités au moyen du marteau bretté, après lequel on passe le côté denté de la ripe, puis le côté uni pour terminer la taille.

L'outillage ordinaire du tailleur de pierre, se complète par 5 ou 6 ciseaux, 1 équerre en fer, 1 compas, 2 règles plates de 1 centimètre d'épaisseur sur 1^{m},50 à 2 mètres de long, et 1 brosse. Le tout se place dans une boîte en tôle ou en cuir, dont le fond est en bois, et que les ouvriers nomment *botte*.

Les tailleurs de pierre qui travaillent aux ravalements sont munis d'une série de petits outils, tels que guillaumes, petits ciseaux, ripes, etc.

Outillage du compagnon maçon. — L'*auge* est le coffre (*fig.* 107) dans lequel le maçon place le mortier ou gâche le plâtre. La longueur intérieure est de 0^{m},75 au bord supérieur et 0^{m},50 au fond; sa largeur, de 0^{m},50 en haut et 0^{m},30 au fond; et sa profondeur varie de 0^{m},22 à 0^{m},26.

Fig. 107.

Pour le plâtre, les auges se font en chêne, et on les rabote à l'intérieur, afin que le plâtre y adhère moins. A part les assemblages qui relient entre elles les parois d'une auge, on s'oppose à leur disjonction par de petites équerres, en zinc épais ou en fer, fixées sur les arêtes. Les auges pour mettre le mortier sont en sapin.

Truelle à mortier. — Cette truelle est ordinairement en fer. Les maçons limousins se servent de la *guerluchonne*.

La guerluchonne peut se remplacer par une truelle en fer dont la forme se rapproche de celle de la truelle à plâtre ; sa lame a 0^{m},18 de long, 0^{m},06 de large à son extrémité, et 0^{m},08 à 0^{m},09 près du manche.

Pour les rejointoiements, on se sert d'une truelle nommée

spatule, dont la lame, qui a $0^m,12$ de long et $0^m,03$ à $0^m,04$ de large, se termine en pointe arrondie. Cette spatule sert au maçon qui fait des enduits en mortier de chaux ou de ciment, pour enlever le mortier qui s'attache à la truelle.

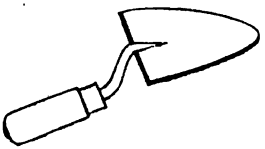


Fig. 108.

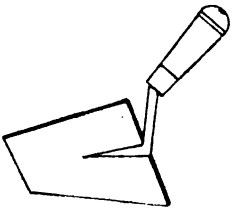


Fig. 109.

Truelle à plâtre (*fig.* 109). — Elle est en cuivre jaune (le fer s'oxydant très vite au contact du plâtre). Les angles de la truelle doivent être bien nets. La grandeur de la truelle est indiquée par l'un des n°s 5, 6, 7 ou 8, qui se trouve sur la lame, suivant que celle-ci a $0^m,170$, $0^m,178$, $0^m,185$ ou $0^m,190$ de long, et à peu près autant de large près du manche.

La truelle des *plafonneurs* est en acier très mince, et elle est plus allongée que la truelle en cuivre. La longueur de la lame est $0^m,22$ à $0^m,25$, et la largeur $0^m,12$ à $0^m,15$ près du manche, et $0^m,07$ à $0^m,09$ à son extrémité, qui est parfois arrondie. Cet outil doit être tenu propre, et ses arêtes doivent être nettes et sans dents.

Hachette. — On nomme ainsi un marteau à tête carrée d'un côté et à tranchant de l'autre (*fig.* 110). La tête sert à frapper sur les moellons pour les diriger et les tasser sur le lit de mortier, et le tranchant s'emploie pour les fendre et les équarrir. Le tranchant sert aussi à *smiller* ou *piquer* les parements, à *ébousiner* les lits pour les rendre horizontaux, et à hacher et démolir les vieux plâtres et mortiers.

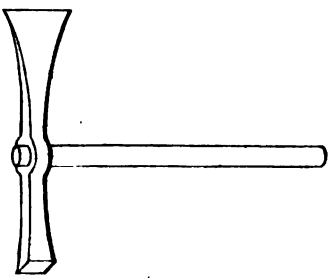


Fig. 110.

Le maçon à plâtre doit être muni d'une *petite hachette*, de même forme, mais de dimensions moindres que la précédente, qui est dite *grosse hachette*. Il s'en sert pour clouer les lattes de pans de bois et de plafonds, enfoncer les chevillettes, hacher les crevasses, équarrir les soudures, etc. Pour tailler les moellons durs, le tranchant de la hachette doit être très court de biseau et

très étroit ; pour les moellons tendres, le tranchant doit être très allongé et le plus large possible.

Les piqueurs de moellons exécutent leur travail au moyen d'une hachette, nommée *laye*, dont le tranchant est très court et a 0m,10 à 0m,12 de large.

Marteau de maçon — Cet outil est de même forme que la grosse hachette ; le tranchant est remplacé par un pic très allongé (*fig.* 111). On s'en sert pour les démolitions et pour percer les trous de scellements dans les murs.

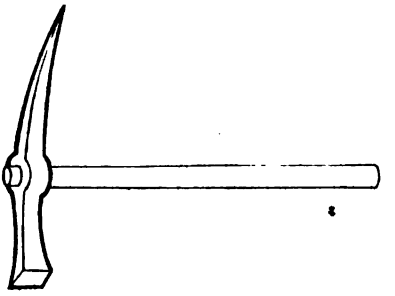


Fig. 111.

Les démolitions d'ouvrages hydrauliques nécessitent un marteau dont la forme offre plus de résistance que le marteau de maçon à plâtre ; sa pointe est plus raccourcie, et la tête est moins longue et d'un carré beaucoup plus fort.

Fil à plomb. — Cet outil guide pour élever les parements de murs et faire les arêtes et les angles verticalement. Il est composé (*fig.* 112) d'un tronc de cône en fer ou en cuivre, dans l'axe duquel passe un cordeau appelé *fouet*, qui y est retenu par un nœud ; d'une plaque carrée de même métal que le tronc de cône, ou *chat*, et qui est percée à son centre d'un trou qui lui permet de glisser le long du cordeau ; enfin d'une autre plaque en métal ou en bois qui fait l'office de bobine pour y entourer le cordeau.

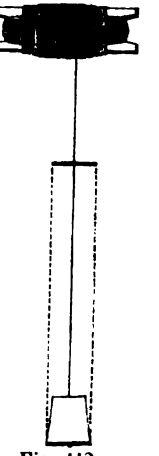


Fig. 112.

Le chat a pour côté le grand diamètre du plomb, de manière qu'en le tenant horizontal et en appliquant l'une de ses arêtes contre le haut du parement d'un mur, si on laisse pendre librement une certaine longueur de cordeau, et que le bord inférieur du plomb ne fasse que se mettre en contact avec le mur, c'est que le parement est vertical ; si ce bord inférieur se trouve séparé du mur, c'est que le parement surplombe, pour la hauteur qui sépare le chat de la base inférieure du plomb, de la quantité dont il est éloigné du plomb ; enfin, si pour amener la grande base du tronc au contact du mur, on est obligé d'éloigner le chat du parement, l'éloignement

sera le fruit du mur pour la hauteur qui sépare le chat du plomb; ainsi cette hauteur étant de 2 mètres, par exemple, et la distance du chat au mur de $0^m,10$, c'est que le fruit du mur est de $0^m,05$ par mètre.

La longueur minimum du cordeau doit être de 9 à 10 mètres.

Niveau de maçon. — C'est (*fig.* 113) un système composé de deux petites règles assemblées à angles droits dans deux petits montants de même largeur et de même épaisseur, et dont l'une se trouve à $0^m,06$ ou $0^m,07$ des extrémités inférieures de ces montants. Par un trou percé au milieu de la traverse supérieure passe un cordeau au bout duquel est suspendu un petit plomb; ce cordeau coïncide avec un trait marqué sur la traverse inférieure, quand les pieds des deux montants sont dans un même plan horizontal.

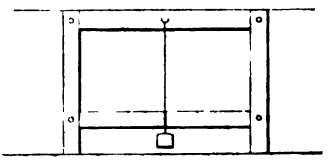


Fig. 113.

Plaçant les pieds du niveau en tous sens sur une surface, si le cordeau, rendu libre en tenant convenablement le niveau, coïncide toujours avec le trait vertical marqué sur la traverse inférieure, c'est que cette surface est horizontale. Faisant reposer une règle de largeur uniforme sur deux points suffisamment éloignés, et posant le niveau sur la règle, il indiquera encore si les deux points sont à la même hauteur, et, dans le cas contraire, lequel est le plus élevé; il est évident que celui-ci se trouvera de l'autre côté du petit trait par rapport au cordeau.

Pour poser une règle de niveau ou obtenir un point de niveau avec un autre, il suffit de faire reposer une des extrémités de la règle de largeur uniforme sur le point donné, et de placer le niveau sur le milieu de cette règle, dont on élève ou abaisse l'autre extrémité jusqu'à ce que le fil à plomb vienne battre dans le petit trait; la règle sera alors de niveau, et tous les points de son côté inférieur le seront également avec le point donné.

Ce niveau permet de placer une règle horizontalement, même quand on ne peut pas placer le niveau dessus, comme il arrive quand il s'agit de poser la règle pour faire la feuillure de la traverse supérieure d'une croisée qui atteint près du plafond. On opère alors comme dans le cas précédent; seulement, au lieu de placer les pieds du niveau sur la règle, on applique sa traverse supérieure en dessous. Ce niveau peut servir à vérifier l'horizontalité de la face inférieure d'un objet quelconque.

Le *niveau de poseur* est composé de trois règles en bois ou en fer formant un triangle isocèle rectangle, au sommet de l'angle droit duquel est suspendu le fil à plomb; la règle formant la

base du triangle porte en son milieu le petit trait vertical de repère, et se trouve à 0m.07 ou 0m,08 des pieds du niveau ou des extrémités des deux premières règles. En posant ce niveau sur une règle, ou en tout sens sur le lit d'une pierre, le poseur reconnaît s'il y a horizontalité comme avec le niveau de maçon.

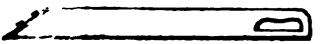


Fig. 114.

Le *guillaume* (*fig.* 114) est un rabot en bois dur, taillé en biseau allongé, garni d'une lame d'acier sur le biseau et évidé de manière à former une poignée vers l'autre extrémité. Cet outil sert à prolonger et à régulariser les *arêtes* et les *cueillies d'angle*, lorsque les règles ne sont pas assez longues, ou que ces ouvrages sont mal dressés; on l'emploie pour couper et prolonger les moulures lorsqu'on les fait sans calibre. On affûte le fer avec soin et on le pose de manière qu'il effleure sans le dépasser le dessous du guillaume, sans quoi il mordrait dans les arêtes, cueillies et moulures, et ne permettrait pas de les dresser.

Le *gros guillaume* a environ 0m,50 de long, 0m,06 de large et 0m,04 d'épaisseur; il est en bois de charme ou de hêtre.

Truelle brettée. — C'est une plaque d'acier de forme rectangulaire, au centre de laquelle est fixé un manche perpendiculaire à son plan; les deux grands côtés de cette plaque sont taillés en biseau dont l'un est denté (*fig.* 115). Elle sert à nettoyer et à dresser les enduits en plâtre; le maçon passe le côté denté sur les enduits dès que le plâtre a fait prise, pour les dégrossir, puis il donne le fini désirable avec le côté uni.

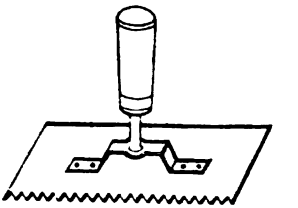


Fig. 115.

Le manche en bois doit porter un repos, c'est-à-dire une petite cheville qui le retient solidement à la queue en fer, sans quoi le ballottement continuel de la truelle dans son manche nuit à la perfection des enduits.

On doit faire les biseaux le plus courts possible et bomber un peu les tranchants dans le sens de la longueur; car, si on les faisait creux ou même droits, les angles marqueraient sur le plâtre quand on le nettoierait; tandis qu'avec un peu de rond, en baissant légèrement la main, on parvient à bien dresser et unir les enduits.

La truelle brettée est employée pour dresser les revêtements en ciment romain ; la lame doit être alors épaisse et très dure, afin qu'elle s'use moins par le frottement sur les grains de sable que contient le mortier.

Le *riflard* (*fig.* 116) est un ciseau à manche en bois dur, dont la lame en acier a $0^m,06$ de large. On s'en sert pour recouper les repères et les nus, pour dégager les cueillies d'angle, couper les arêtes et dégrossir les moulures, lorsqu'on les fait à la main; on l'emploie pour nettoyer les plâtres dans les endroits où l'on ne peut atteindre avec les truelles brettées.

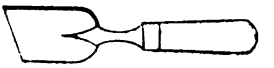


Fig. 116.

En affûtant le riflard, il faut allonger le biseau et faire le tranchant parfaitement droit et un peu en onglet, ce qui le rend plus commode pour dégager les angles.

Taloche. — C'est une planche rectangulaire (*fig.* 117) en bois dur, dont une face est parfaitement dressée, et l'autre surmontée, au milieu d'une traverse en bois, dans laquelle se trouve fixé, perpendiculairement à la taloche, un manche en bois. On s'en sert pour faire les enduits et les crépis; le maçon, la prenant dans sa main gauche, par le manche, la place horizontalement, le manche en bas, et la couvre de plâtre, qu'il puise dans l'auge avec sa truelle; alors il prend le manche à deux mains, et promène la taloche contre le mur ou sous le plafond, en y faisant adhérer le plâtre, qu'il étale régulièrement.

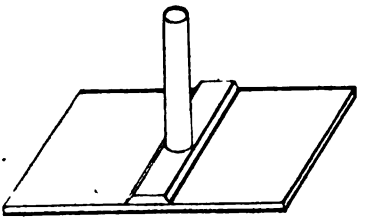


Fig. 117.

Le maçon fait usage d'une petite taloche pour les crépis, et une grande pour les enduits; la première a environ $0^m,45$ de long sur $0^m,26$ de large ; et la seconde, $0^m,50$ sur $0^m,35$. Elles sont en bois de noyer de $0^m,01$ d'épaisseur, quelquefois moins.

L'outillage du maçon comprend encore 2 règles en bois de chêne ou de sapin, de 2 mètres de long, dont une plate, de $0^m,10$ de large sur $0^m,03$ d'épaisseur, et l'autre carrée, de $0^m,04$ de côté, dont il se sert pour battre les nus, faire les arêtes, les cueillies d'angle, les feuillures, etc., 6 *chevillettes* en fer, à crochet, et de

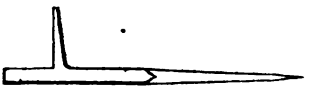


Fig. 118.

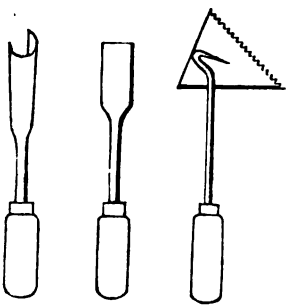


Fig. 119 à 121.

0m,30 de longueur (*fig.* 118), avec lesquelles il fixe ses règles en bois; enfin une série de petits outils en fer aciéré, tels que *gouges*, *petits fers*, *grattoirs* (*fig.* 119 à 121), équerres en fer et en bois, petits guillaumes, etc., qu'il emploie pour pousser et raccorder à la main les moulures droites ou courbes, les retours de chapiteaux, de corniches et autres travaux de moulures interrompus dans les emplacements où l'on ne peut faire glisser le calibre. Aussitôt qu'il s'est servi de ses outils, il doit les passer au sable, puis les graisser avec du suif pour les empêcher de se rouiller.

Échafauds

On distingue trois sortes d'échafauds de maçons :

1° Les *échafauds sur plans verticaux*, servant à construire les murs, pans de bois et cheminées, et à restaurer les ravalements;

2° Les *échafauds sur plans horizontaux*, pour construire les plafonds et faire les rejointoiements et enduits de voûtes;

3° Les *échafauds volants*, pour ravalements partiels ou autres ouvrages qui n'ont pas besoin d'être échafaudés de fond.

Les agrès nécessaires à l'établissement de ces échafauds sont les *cordages* ou *troussières*, les *échasses* ou *écoperches*, les *boulins*, les planches et les échelles.

On nomme *échasses*, *écoperches* ou *baliveaux*, les pièces de bois de brin verticales que l'on dresse pour supporter les planches d'échafaud; on les prend en aune ou en sapin, dont la légèreté les rend faciles à manœuvrer; elles ont de 5 à 10 mètres de longueur, et de 0m,15 à 0m,25 de diamètre au pied; le diamètre diminue de bas en haut; au sommet, elles se terminent quelquefois en pointe, mais alors on ne doit pas les charger dans toute la partie qui a moins de 0m,07 à 0m,08 de diamètre.

Les *boulins* sont des morceaux de bois ronds, ordinairement en aune, en frêne ou en chêne, dont la longueur est environ de 2m,50, et le diamètre de 0m,10 à 0m,15, et qu'on emploie pour former les traverses horizontales des échafauds. Les boulins en frêne ou chêne sont préférables à ceux en aune, qui se rompent quelquefois sous des charges peu considérables.

Les *morizets* sont des boulins de 4 mètres de long, qu'on emploie pour les échafauds de plafonds.

Les *filières* sont des pièces longitudinales, qui relient quelquefois ensemble transversalement tous les boulins d'un même étage, ainsi que les échasses. Elles se font en planches ou même en bois de brin de 0m,10 de diamètre.

Il faut éviter de se servir d'échasses et de boulins en bois échauffé ou pourri.

Les *planches* employées aux échafauds proviennent des *déchirages* de bateaux; elles ont 4 mètres de long, 0m,30 à 0m,35 de

large et 0m,04 à 0m,05 d'épaisseur. Pour les empêcher de se fendre, on cloue trois petites traverses sur une de leurs faces, une à chaque extrémité et une vers le milieu. Il est bon de *fretter* ces planches aux deux bouts en les garnissant de petites bandes minces de fer.

Échelles. — Les échelles qui relient les divers étages d'un échafaudage doivent être attachées solidement aux deux extrémités; on doit souvent les renforcer d'un morceau de bois de brin dans leur partie médiane.

Les montants les plus grands dont on se sert sur les chantiers sont en bois de brin; on en maintient l'écartement, de distance en distance, par des boulons en fer et à écrous, qui remplacent des échelons; ceux-ci sont en bois de charme ou de coudrier, on les fait plus forts au milieu que vers les extrémités encastrées dans les montants, et l'on doit remplacer ceux qui sont cassés ou qui paraissent trop faibles.

L'inclinaison minimum à donner aux échelles pour faciliter le montage est environ le 1/4 de leur longueur; même sous une plus faible inclinaison, les échelles tendent à fléchir sous leur propre poids et les charges qu'elles supportent; on les étançonne en leur milieu à l'aide de deux écoperches, qu'on relie et qu'on dispose en arc-boutants sous le derrière des échelles.

L'entr'axe des échelons qui rend le montage le plus facile est de 0m,28.

Échafaud sur plan vertical (*fig.* 122). — Pour établir cet échafaud, on place verticalement, à 1m,50 du pied du mur ou du pan de bois à construire, des échasses espacées de 2 mètres; on scelle leurs pieds dans le sol, en les y faisant pénétrer de 1 mètre ou simplement dessus, au moyen de petits massifs en moellons et plâtre, qu'on appelle *patins*. Cela fait, tous les 1m,75 de hauteur environ, et au fur et à mesure que la construction s'élève, on place des boulins, qu'on lie d'un bout aux échasses et filières au moyen de cordages (*troussières*) et de fil de fer à main, et que de

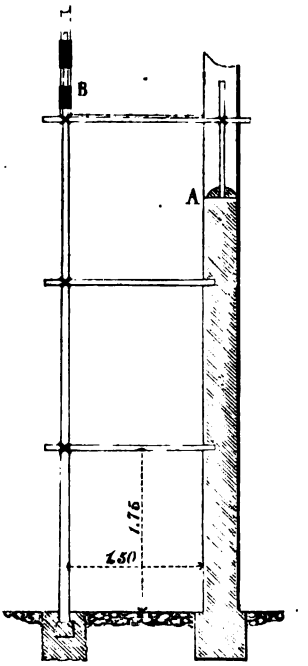
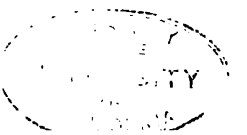


Fig. 122.



l'autre on scelle de 0m.10 au moins dans le mur s'il est en moellons, ou le pan de bois; sur chaque étage de boulins on établit un

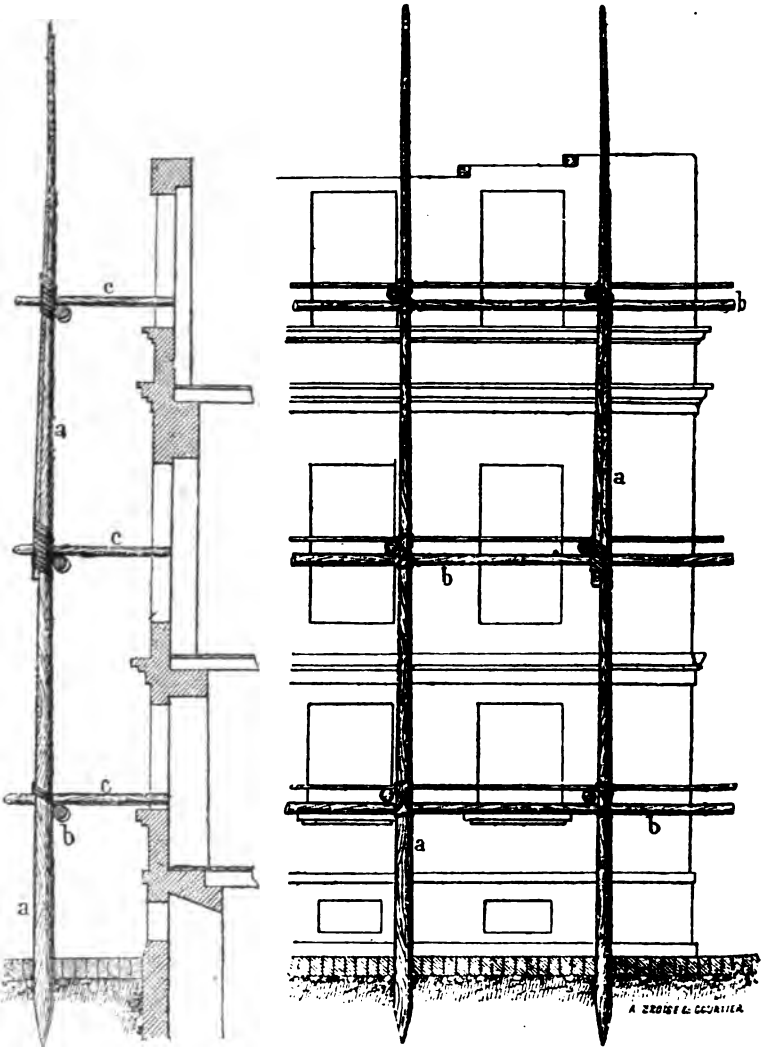


Fig. 123.

plancher en planches de bateau, en évitant les bascules et les glissements. Lorsqu'on a élevé la maçonnerie aussi haut qu'il est possible au-dessus d'un plancher, on pose les boulins de l'étage

supérieur, et dessus on place les planches du plancher qu'on va quitter. On laisse tous les boulins en place pour consolider les échasses, et sur chacun de leurs étages on réserve un rang de planches pour faciliter le travail, si l'on a des alignements ou des aplombs à relever.

Lorsque les murs d'un bâtiment sont en briques ou en pierres de taille, on ne peut y sceller les boulins; alors on dresse les échasses en face des croisées, et vis-à-vis, sur les appuis de celles-ci, ou à l'intérieur du bâtiment, on pose des boulins verticaux, auxquels on relie les boulins horizontaux comme aux échasses; c'est ce que montre en A la figure 122.

L'échasse supérieure doit s'arrêter sur un boulin ou une filière et doit reposer, en outre, sur des tassements ou sur un soutien placé contre l'échasse inférieure et se continuant jusqu'à terre.

Lorsque les échasses n'ont pas une longueur suffisante pour atteindre le sommet du mur à construire, on les *ente*, c'est-à-dire qu'on les prolonge par d'autres qu'on relie à leur sommet, en ayant soin de faire reposer le pied de chacune de ces dernières échasses sur un des derniers boulins horizontaux; la figure 123 montre cette disposition en B. Il est bon de pouvoir donner 2 mètres de long au recouvrement (*enture*). Cela fait, on continue l'échafaud comme si les échasses étaient d'une seule pièce.

L'entretoisement par des pièces de bois diagonales est utile, mais l'étançonnement des échasses n'est admis devant la façade qu'autant qu'il ne gêne en rien la circulation de la rue.

La figure 123 représente un échafaud extérieur.

Échafaud sur plan horizontal (*fig.* 124). — Pour établir un tel échafaud, pour un plafond par exemple, on place verticalement des boulins le long de deux murs opposés de la pièce à plafonner, en les espaçant de 2 mètres environ l'un de l'autre; à ces boulins, comme la figure 124 l'indique en *a*, on lie des traverses horizontales, sur lesquelles on pose le plancher de l'échafaud. Ces traverses sont ordinairement formées par des écoperches ou des morizets que l'on ente, comme la figure 124 l'indique en *b*, pour leur donner la longueur de la pièce. On les étrésillonne en dessous, de distance en distance, pour qu'elles puissent supporter le plancher et la charge, qui est assez considérable, surtout quand on étrésillonne sur l'échafaud les planches qui servent à construire les augets du plafond.

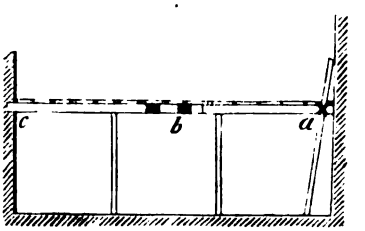


Fig. 124.

La hauteur à laquelle on pose cet échafaud est telle que la

distance entre la tête des hommes qui travaillent dessus et le plafond ne dépasse pas 0m,06 à 0m,07; un plus grand intervalle rend le travail plus difficile.

Quand on peut percer les murs, on y fait des trous pour sceller les bouts des traverses, et l'on supprime les boulins verticaux, lesquels, s'élevant presque toujours au-dessus de l'échafaud, obligent d'interrompre les enduits des murs et de les raccorder quand on les a enlevés; cette disposition est indiquée en *c* (*fig.* 124).

En posant les planches sur les traverses, il faut éviter les ressauts des bouts de planches, les bascules, les trous et les trop grands intervalles entre les planches.

Les échafaudages servant à enduire les voûtes s'établissent à peu près de la même manière que pour les plafonds.

Échafauds volants. — Pour les travaux de réparations ou de ravalements de bâtiments, quand il y a impossibilité de faire reposer les échasses sur le sol, comme dans une rue étroite et très fréquentée, si l'on peut disposer du premier étage, on établit un échafaud à bascule (*fig.* 125). De fortes pièces de bois A se posent horizontalement sur les appuis des fenêtres, et l'on s'oppose à leur mouvement de bascule en serrant leur partie intérieure entre un potelet C, qui repose sur le plancher, et un poteau vertical B, dont l'extrémité supérieure s'appuie sous le plafond. Sur les par-

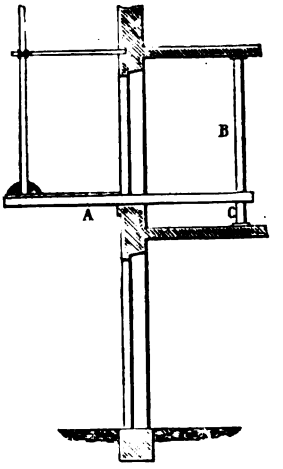


Fig. 125.

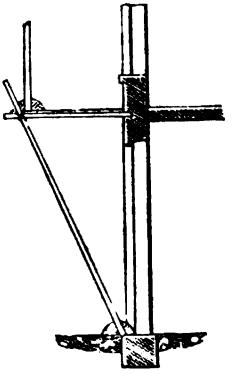


Fig. 126.

ties extérieures de ces pièces, on établit le premier plancher de l'échafaud ; puis, à une distance convenable du mur, on scelle les

pieds des échasses avec de forts patins en plâtre, comme on le ferait sur le sol.

Lorsque le travail est peu important et que le premier plancher ne doit pas porter d'échafaudage supérieur, on en remplace les pièces horizontales. A part de forts morizets, dont on empêche le mouvement de bascule en les attachant simplement après un boulin vertical s'appuyant sous le plancher et sous le plafond, et qui remplace ainsi le potelet C et le poteau B.

Quand le premier étage du bâtiment n'est pas libre, on supporte la partie extérieure des premiers boulins horizontaux par des boulins inclinés, dont les pieds sont scellés au bas du mur dans des patins en plâtre (*fig.* 126). On établit ensuite l'échafaud sur le premier plancher, comme dans le cas précédent.

Dans cette disposition, il y a une poussée qui tend à détacher l'échafaud du mur; pour éviter tout mouvement, on scelle dans le mur les boulons du premier rang, et il convient même de fixer à chacun une patte en fer tenant dans le scellement.

Pour des réparations accidentelles, les échafauds ne se composent souvent (*fig.* 127) que d'une ou deux planches placées sur des boulins liés aux extrémités des cordages, qui viennent passer sur le sommet du mur pour aller se fixer par leurs autres extrémités contre la face opposée de ce mur, soit à des crampons, soit à des pièces de bois chargées de pierres. Le frottement considérable des cordages sur le mur permet de se servir d'amarrages d'une résistance non très considérable, mais qui doit se trouver au-delà de la limite nécessaire.

Fig. 127.

Parmi les échafauds volants se range celui composé d'une *corde à nœuds*, que l'on fixe au sommet du mur en la laissant pendre sur la face à réparer, et à laquelle on se suspend pour travailler.

L'ouvrier s'asseoit sur une petite *sellette* en bois garnie de deux *bretelles*, qui passent une de chaque côté de l'ouvrier pour venir s'accrocher à la corde, à l'aide d'agrafes en fer; en outre, aux jambes de l'ouvrier, au-dessous des genoux, on fixe des lanières, également armées d'agrafes, qui s'accrochent aussi à la corde. Cette quadruple attache rend libres les deux mains de l'ouvrier, et lui permet, en descendant ou en montant l'une après l'autre les quatre attaches, de descendre ou de monter sans trop de fatigue le long de la corde.

Le diamètre de la corde est ordinairement de $0^m,034$; c'est un hauban de 4 torons de chacun 40 fils de caret. La distance de milieu en milieu des nœuds varie de $0^m,30$ à $0^m,40$.

Les échafaudages sur chevalets, tréteaux, tonneaux, caisses, ne peuvent servir que jusqu'à 5 mètres de hauteur.

Ordonnance du préfet de police concernant les échafaudages sur la voie publique à Paris (12 mai 1881)

TITRE Ier. — *Échafaudages fixes scellés ou non dans les murs de face*

ART. 1er. — Tout échafaudage fixe, scellé ou non dans un mur de face, et portant sur le sol, aura ses planchers garnis de garde-corps sur les 3 côtés faisant face au vide.

ART. 2. — Les planches placées en travers des boulins horizontaux pour former plancher devront être posées jointives et être assez longues pour porter au moins sur 3 boulins.

ART. 3. — Les garde-corps auront 0m,90 de hauteur au moins ; ils seront ou pleins ou composés d'une traverse d'appui solidement fixée: quand ils ne seront pas pleins, le plancher devra être entouré d'une plinthe ayant au minimum 0m,25 de hauteur.

ART. 4. — Tout échafaudage fixe dont la hauteur au-dessus du sol dépassera 6 mètres sera muni d'un plancher de sûreté construit dans les conditions indiquées à l'article 2 ci-dessus et posé à 4 mètres environ au-dessus du sol de la rue.

ART. 5. — Partout où travailleront des ouvriers sur un échafaudage fixe, il sera disposé des toiles pour arrêter les poussières et empêcher la chute sur la voie publique des éclats de pierre ou de plâtre.

TITRE II. — *Échafaudages fixes en bascule et en saillie sur le mur de face*

ART. 6. — Les pièces posées en bascule pour recevoir l'échafaudage seront de fort équarrissage, si elles sont en charpente ; de gros échantillons, si elles sont en fer. Elles recevront un plancher de madriers qui reposeront sur 3 traverses au moins.

Les dispositions des articles 1, 2, 3 et 5 ci-dessus sont applicables aux échafaudages établis en bascule.

ART. 7. — Il est fait exception pour les échafaudages légers employés sur les toits. Toutefois ces échafaudages devront également reposer sur 3 traverses fixées solidement aux parties résistantes de la construction et être munis, sur le côté faisant face au vide, d'un garde-corps et d'une plinthe disposée convenablement.

TITRE III. — *Échafaudages mobiles ou fixes suspendus par des cordages*

ART. 8. — Tout échafaudage mobile aura son plancher garni d'un garde-corps sur les 4 faces et sera suspendu par 3 cordages au moins.

ART. 9. — Le plancher, qu'il soit en métal ou en bois, sera composé de fortes pièces solidement assemblées.

ART. 10. — Les garde-corps seront composés d'une traverse d'appui posée à la hauteur de 0m,90 sur les 3 côtés faisant face au vide et de 0m,70 sur le côté faisant face à la construction. Cette traverse sera portée par des montants espacés de 1m,50 au plus et solidement fixés

au plancher. En outre, il y aura par le bas une plinthe de 0m,25 de hauteur au moins.

Cet ensemble de plancher et de garde-corps, formant ce qu'on appelle *la cage*, devra être assemblé et rendu fixe dans toutes les parties avant la suspension.

Art. 11. — Les cordages de suspension s'adapteront à des étriers en fer passant sous le plancher, garnis en haut d'un crochet en spirale, et établis de manière à supporter par un épaulement externe la traverse supérieure du garde-corps.

Ils se manœuvreront par des moufles amarrées ou fixées aux parties résistantes de la construction, telles que murs-pignons ou de refend, souches de cheminées, arbalétriers et pannes des combles, etc. Les chevrons, balcons, barres d'appui ou autres parties légères de la construction ne pourront, dans aucun cas, servir à cet usage.

Art. 12. — Les dispositions des articles 8 et 9 et § 1er de l'article 10 sont seules applicables aux échafaudages fixes suspendus par des cordages.

Titre IV. — *Échafaudages métalliques roulants*

Art. 13. — L'échafaudage roulant sur les barres d'appui de balcon sera en fer et ne pourra contenir qu'un seul ouvrier.

Il sera muni, sur le côté opposé au balcon, d'un garde-corps à une hauteur de 0m,50, et le siège en sera solidement fixé par l'armature.

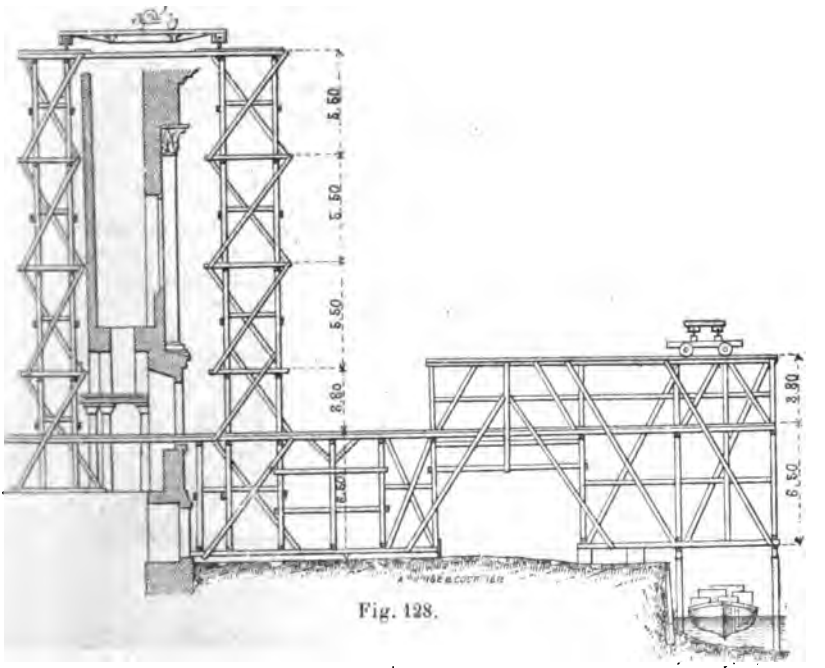


Fig. 128.

Prix des bois d'échafaud, à Paris

Echasses	de	»
Planches en sapin de Lorraine de 4 mètres :		
— de 0,034 et 0,32, l'une		3,25
— de 0,041 et 0,22 —		2,50
— de 0,041 et 0,32 —		4,25
Lattes blanches, les 104 bottes		65 »
— cœur, —		75 »

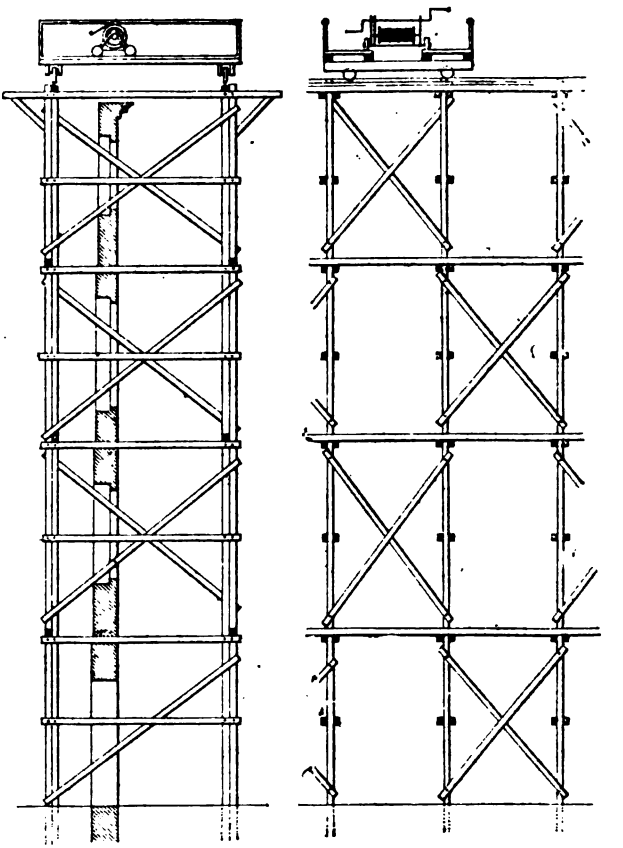


Fig. 129.

Bardeaux	le mille.	4f,25
Madriers de 0,100 et 0,23	le mètre.	1 »
Echelles de 3 mètres à 6 mètres	—	3 »
— au-dessus de 6 mètres	—	3 »
Cornouillers —	la botte.	4,25
Boulins	le mètre.	0,50

Échafaudages divers. — La figure 128 représente la disposition adoptée à la galerie nationale de Berlin. Les pierres sont prises dans un bateau, soulevées par un treuil roulant, déposées sur des wagons ; les wagons les portent à l'aplomb d'une grande grue roulante, mobile parallèlement à la façade de l'édifice. Cette grue se meut sur 2 rails portés chacun par un échafaudage et ces 2 échafaudages comprennent entre eux la façade. Avec cette installation une pierre quelconque est amenée mécaniquement à sa place. La rapidité d'exécution, l'économie de la main-d'œuvre, peuvent, dans une importante construction, couvrir la dépense première.

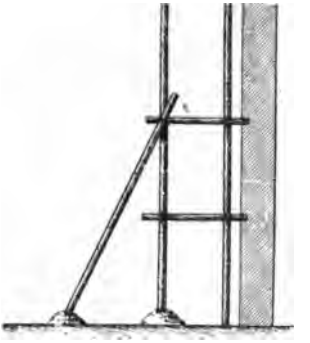


Fig. 130.

La figure 129 donne la disposition d'un échafaudage employé à

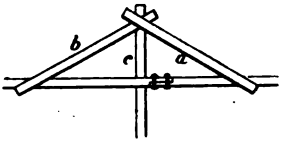


Fig. 131.

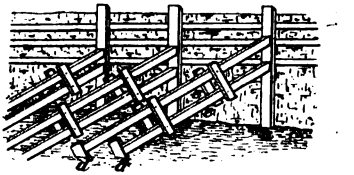


Fig. 132.

la construction des grandes maisons de Berlin. Cet échafaudage enveloppe le mur de façade, et les écharpes transversales sont

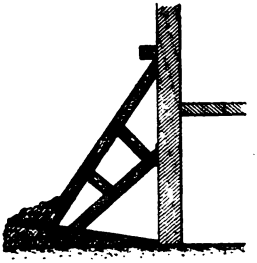


Fig. 133.

Fig. 134.

placées de manière à passer dans les baies de l'édifice projeté. Au sommet de la charpente est un chariot roulant, mobile paral-

lèlement à la façade, qui porte un treuil roulant, mobile transversalement, de sorte que les matériaux pris à la base de l'édifice peuvent être transportés en un point quelconque de la cage en charpente.

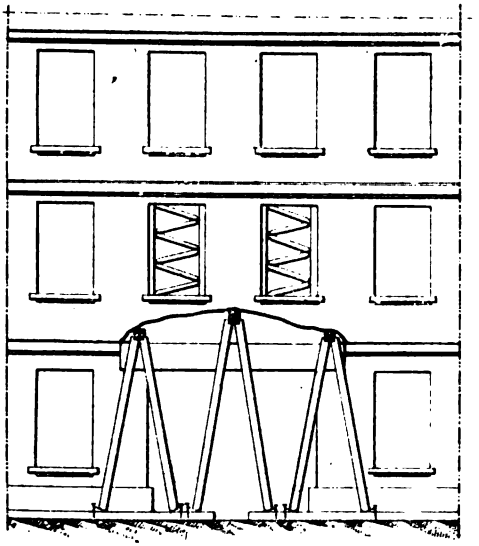


Fig. 135.

Fig. 136.

La figure 131 montre le moyen de rendre indéformable un assemblage, dans le cas où l'on serait obligé de faire une enture. Les liernes *a* et *b* forment par leur jonction avec la moise *c* deux triangles qui rendent tout déplacement impossible.

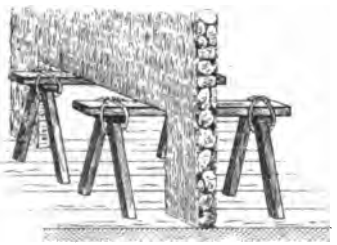


Fig. 137. — Chevalement.

Étrésillonnements. — La figure 132 représente l'*étresillonnement des berges d'une fouille*. Des madriers sont appliqués horizontalement à plat contre les parois et maintenus par des couches verticales *ab*, lesquelles sont-arc-boutées par des *étançons*, dont les pieds sont butés contre des semelles de madriers fichés en terre. Pour une fouille de peu de largeur, on étrésillonne horizontalement les madriers en regard l'un de l'autre dans la fouille. On donne aux berges un talus de $0^m,03$ à $0^m,05$ par mètre de profondeur.

Les figures 133 et 134 représentent l'*étaiement d'un mur*. Des coins empêchent les pieds des étais de glisser sur les semelles. On rend les étançons solidaires en les appliquant sur la même plate-forme et en les moisant.

Chevalements. — Les figures 135 et 136 représentent la consolidation nécessaire pour permettre de supprimer l'appui qui était sous un trumeau et de le remplacer par un poitrail. Il s'agit ici d'un mur en moellon. L'ensemble constitue un *chevalement;* il est composé de trois chevalets constitués par des poteaux montants portant sur des traverses appelées *chapeau*. Les fenêtres ont été *étrésillonnées*. Les étrésillons sont les bois obliques serrés par leurs abouts l'un contre l'autre, portant sur les plates-

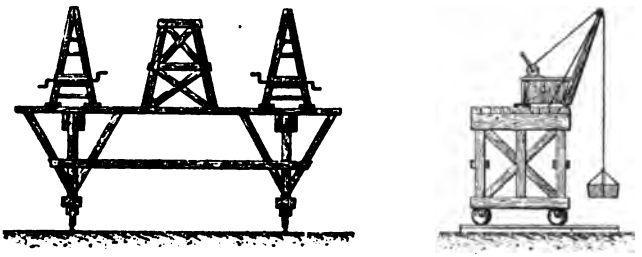


Fig. 138 et 139. — Échafaudage roulant.

formes ou *couchis* appliqués sur les tableaux des fenêtres et consolidant les jambages ou dosserets de la fenêtre.

Pour reconstruire le mur qui supporte un plancher, on étaye ce plancher en posant sur le sol des sablières d'équerre sur les solives ou en travers des solives. Sur ces sablières on place des étais qui supportent un chapeau placé parallèlement et verticalement au-dessus des sablières. Le pied des étais est coupé en biseau et raidi par un coin.

Pour reconstruire un mur de face ou de refend dans toute sa hauteur, il faut que tous les planchers soient étayés.

Les figures 140 et 141 représentent l'étaiement d'un mur pignon qui doit être reconstruit : les étais portent sur des sablières par le haut et sur des patins par le bas. Il faut qu'ils soient bien en concordance du haut en bas du bâtiment. Les étais dans le bâtiment, afin d'éviter les branlements, ne sont pas forcés par le choc, mais ils le sont par l'action de *pinces*, longues barres de fer terminées par un biseau un peu recourbé.

Pour étayer les terres d'une tranchée, on pose horizontalement

contre les parois de terre de la tranchée des couchis en planches, sur lesquelles on appuie des couchis debout maintenus de dis-

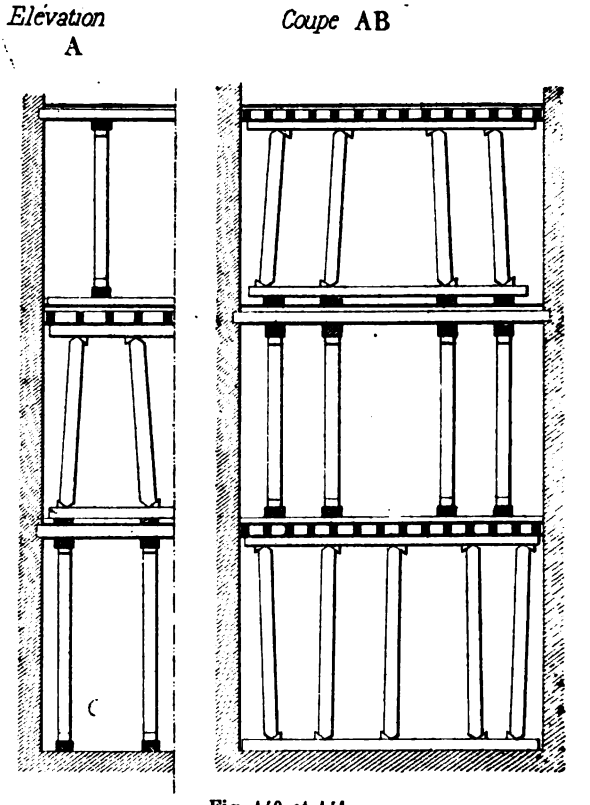


Fig. 140 et 141.

tance en distance par des étrésillons, inclinés alternativement en sens contraire.

CHAPITRE V

TERRASSEMENTS [1]

Outils. — Pour exécuter les déblais dans les terres ordinaires, les sables, les graviers, etc., les ouvriers terrassiers commencent par les ameublir avec une pioche dite *tournée*. Cet instrument (*fig.* 142) est en fer aplati et pèse de $2^{kg},4$ à $3^{kg},75$; ses extrémités, aciérées sur $0^{m},06$ de longueur, sont l'une à tranche plate très allongée et en forme d'*herminette*, et l'autre à pic ; il est percé au milieu d'un trou circulaire pour recevoir un manche de $0^{m},86$ de longueur et de $0^{m},035$ de diamètre. Une tournée de $0^{m},70$ de longueur totale, et de $0^{m},075$ de largeur à l'extrémité de l'herminette, pèse $3^{kg},75$, et coûte 7 francs environ, y compris le manche (qui vaut 1 franc).

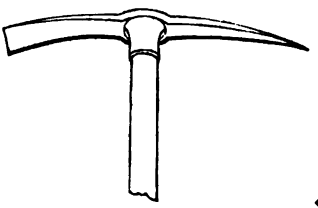


Fig. 142.

Pour enlever les terres au fur et à mesure qu'elles sont piochées, les ouvriers se servent de *pelles* en bois ou en fer ; elles sont ordinairement rondes ; les manches sont droits ou courbés.

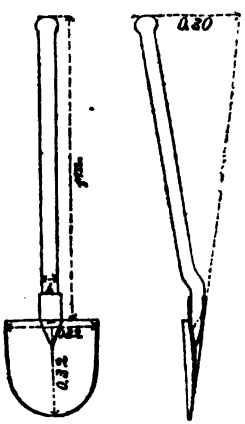


Fig. 143.

Les pelles en fer battu d'un assez fort échantillon ($0^{m},003$ d'épaisseur), de la forme et des dimensions de la figure 143, offrent de grands avantages.

Un manche légèrement courbé vers l'extrémité facilite le pelletage, et en terminant la pelle en ogive, elle pénètre plus facilement dans la terre. On règle la longueur du manche, qui n'est pas renflé au bout, de manière que la longueur totale de la pelle soit de $1^{m},40$.

Une pelle de $1^{kg},25$, aciérée sur $0^{m},06$ de long, coûte $3^{f},50$, manche compris.

Pour les terres meubles et humides, telles que la terre végétale, le sable fin, la tourbe, l'argile et quelquefois la marne, on opère la fouille au moyen de la *pelle*, de la *bêche* ou du *louchet*.

[1] Consulter : A. Debauve, *Procédés et Matériaux de construction*, t. I : *Sondages, terrassements, dragages ;* 1894.

Lorsque les terres présentent une trop grande cohésion pour qu'on puisse les ameublir avec la tournée, c'est-à-dire quand elles commencent à avoir la consistance du roc, on a recours à la *pince*, au *pic* et quelquefois à la *mine*.

Le pic n'est souvent qu'à une seule pointe fortement aciérée, et l'œil qui le termine de l'autre côté reçoit un manche, dont la longueur varie de $0^m,60$ à $0^m,80$, suivant la longueur du pic, qui dépend elle-même de la nature des déblais à fouiller. Parfois, le pic est à deux pointes, et l'œil pour le manche se trouve au milieu.

Généralement, le pic ne sert qu'à pratiquer des *tranches* ou saignées, dans lesquelles, à coups de *masse* ou de marteaux, on enfonce des *coins* pour opérer l'excavation, que l'on achève en soulevant des blocs avec la pince. Le poids des coins varie de $0^{kg},5$ à 5 kilogr., et celui des masses de 5 à 18 kilogr. Les manches doivent être en bois durs et souples ; on les fait ordinairement en *cornouiller*.

Pour le roc dur, on emploie la *pointerolle*, outil en fer terminé d'un côté par une pointe obtuse, et de l'autre par une tête carrée, sur laquelle on frappe avec une massette, à manche court, pouvant peser 2 kilogr. Les extrémités de la pointerolle doivent être aciérées. Un manche de $0^m,30$ est placé au milieu de sa longueur, qui est de $0^m,20$.

Pour les roches excessivement dures, on se sert du *fleuret*, tige en fer rond de $0^m,03$ à $0^m,04$ de diamètre, et de $0^m,50$ à $0^m,75$ de longueur, terminé d'un bout par une tête, et de l'autre par un biseau courbe et allongé. La largeur de ce biseau doit être un peu plus grande que le diamètre de la tige, afin que le fleuret puisse tourner librement dans les trous qu'il sert à pratiquer dans le roc.

Pour exécuter, dans l'eau, la fouille des terres, des sables ou des graviers, on emploie la *drague à main*, grande pelle en fer dont les côtés latéraux et celui qui porte la douille sont recourbés d'équerre sur $0^m,07$ à $0^m,08$ de hauteur, pour former une espèce de coffre ouvert sur le devant. Le manche est perpendiculaire au fond de la drague, et il a une longueur suffisante pour que l'ouvrier placé à la surface de l'eau puisse aller puiser les terres au fond. Le devant de la drague est souvent armé de 3 ou 4 dents en acier, lesquelles en labourant la terre facilitent son chargement sur la drague, dont le fond est percé de petits trous pour laisser égoutter l'eau.

Lorsqu'il s'agit de fouilles considérables à exécuter dans l'eau, la drague à main est remplacée par un *bateau dragueur*, que fait fonctionner soit un manège à un ou deux chevaux, soit une machine à vapeur.

Exécution des fouilles ou déblais. — La méthode employée

pour exécuter les fouilles consiste à piocher les terres par couches successives de $0^m,30$ à $0^m,40$ d'épaisseur, que les ouvriers appellent *plumées*, et à les enlever au fur et à mesure qu'elles sont ameublies.

Lorsque la fouille a de grandes dimensions, on attaque, toutes les fois que cela est possible, les déblais par leur partie inférieure, en dressant immédiatement le fond de la fouille, afin de faciliter le *pelletage* des terres. Dans ce cas on peut employer la méthode de *sape* ou d'*abatage*, très expéditive, qui consiste, une fois que la fouille est faite en un point, à attaquer la massé latéralement, en la creusant en dessous, et à la détacher par parties, en faisant tomber les portions qui ne sont plus retenues que par la cohésion des terres, à l'aide de deux ou trois pieux en bois armés d'une pointe en fer et frettés par le haut, que l'on enfonce à coups de masse dans le haut et à la limite de la partie minée qui ne doit pas avoir plus de 3 mètres de hauteur. Les terres, en s'éboulant ainsi dans la fouille, s'ameublissent au point de pouvoir être pour ainsi dire chargées directement avec la pelle.

On peut de cette manière détacher à la fois des masses de 20 à 30 mètres cubes; mais de grandes précautions doivent être prises pour éviter les accidents, à cause de la grande différence qui existe presque toujours dans la cohésion des diverses parties d'un même terrassement. Pour les grands travaux, il faut préférer le piochage à la tournée à l'abatage; une augmentation de 0 fr. 03 à 0 fr. 05 par mètre cube de déblai assure une sécurité parfaite.

Disposition des ateliers et nombre d'ouvriers. — Un terrassier peut jeter la terre à la pelle à 3 ou 4 mètres de distance horizontale, ou à une hauteur verticale de $1^m,60$ à 2 mètres. Il peut enlever à la pelle et charger sur une brouette de 15 à 20 et jusqu'à 25 mètres cubes de terre dans une journée de 10 heures de travail; il faut réduire ce volume de 1/4 à 1/3 lorsque la terre est jetée horizontalement à 2 mètres au moins et à 4 mètres au plus, ou qu'elle est élevée verticalement de $1^m,60$ à 2 mètres, ou encore chargée en tombereau ou en wagon.

Dans les terrains analogues au sol rapporté de Paris, lorsqu'il y a nécessité de faire usage de la pioche, et qu'il y a impossibilité d'employer l'abatage, un terrassier peut fouiller et jeter à la pelle, horizontalement à 4 mètres au plus, ou sur une banquette élevée de $1^m,60$ à 2 mètres, environ 7 à 9 mètres cubes de terre.

On fait piocher un homme pendant t minutes; puis on compte le nombre t' de minutes que met un autre homme pour enlever, à la pelle, la terre ameublie, et le rapport $\frac{t'}{t}$ est le nombre de piocheurs nécessaires pour entretenir un pelleteur.

Dans les travaux du Génie militaire, le rapport du nombre des hommes employés à la fouille, piocheurs et chargeurs, à celui des rouleurs qui parcourent le premier relais, est le nombre par

lequel on désigne la nature de la terre ; si un homme suffit pour charger une brouette pendant qu'un autre parcourt un relais horizontal de 30 mètres, soit une distance de 60 mètres pour l'aller et le retour, on dit que la *terre* est *à un homme;* si un homme ne suffit pas, et que, par exemple, pour deux rouleurs au premier relais, il faille un piocheur et deux chargeurs, la *terre* est *à un homme et demi ;* la *terre* peut être *à deux, à trois*, etc., *hommes*.

Déblais de terres ordinaires par dépôts et emprunts. — Le système par *dépôts et emprunts* consiste dans l'exécution d'un déblai dont les terres sont mises en *dépôts* ou en *cavaliers* sur l'un ou les deux côtés de la fouille, ou d'un remblai fait au moyen d'*emprunts*, c'est-à-dire de fouilles exécutées sur l'un ou les deux côtés du cavalier.

Si les moyens mécaniques ne peuvent être employés pour élever les terres fouillées et en former des cavaliers, le mouvement des terres s'opère au moyen de brouettes ou de tombereaux.

1° *Exécution d'un déblai au moyen de brouettes.* — La longueur du relais étant de 30 mètres sur un plan horizontal, elle sera réduite à 20 mètres sur un plan dont la pente est de $0^m,08$ par mètre, et les terres seront élevées de $1^m,60$ à l'extrémité du relais, hauteur qui est celle du jet vertical à la pelle.

La fouille à exécuter devra être partagée dans le sens de sa longueur en tranchées de 20 mètres de long, lesquelles, avec palier horizontal de $1^m,50$ de large, recevront chacune un atelier. Cet atelier sera composé, par chaque 2 mètres de largeur de la tranchée, d'un piocheur chargeant les brouettes si la terre est meuble, ou d'un piocheur et d'un chargeur si elle est assez dure pour que ces deux hommes soient constamment occupés pendant qu'un troisième conduit la terre à un relais. Comme il doit toujours y avoir sur chaque atelier élémentaire une brouette en charge, le nombre des brouettes pour chacun d'eux sera égal à celui des rouleurs plus 1. Si la fouille a 6 mètres de largeur, on y établira un atelier composé de trois ateliers élémentaires, et si la terre est assez ferme pour exiger un piocheur et un pelleteur pour un rouleur, la terre n'étant transportée qu'à un relais, le personnel de l'atelier se composera de trois piocheurs, trois pelleteurs et trois rouleurs. Si le dépôt des déblais n'était pas placé immédiatement au bord de la tranchée, on ajouterait le nombre de rouleurs nécessaires.

Au commencement, les déblais sont portés à l'extrémité du lieu de dépôt; il en résulte que, la fouille étant commencée près du bord voisin du dépôt, la distance de transport et, par suite, le travail des rouleurs varient le moins possible.

L'atelier enlève d'abord une tranche dont l'épaisseur, nulle au point de départ, augmente progressivement de manière à être

$1^m,60$ à la distance de 20 mètres ; puis il extrait la terre à cette profondeur dans toute l'étendue de la fouille en ne réservant que les rampes nécessaires. Au lieu d'enlever toute la tranche inclinée de 20 mètres, on peut d'abord ne creuser que les rampes, puis faire la fouille de $1^m,60$ d'épaisseur uniforme. Quand l'excavation est arrivée à $1^m,60$, on enlève une autre couche d'une égale épaisseur, en continuant les rampes, auxquelles on donne les directions qui nécessiteront le moins de transport transversal pour extraire cette seconde couche. On enlève ensuite une troisième couche, et l'on continue ainsi de suite jusqu'à ce que la fouille soit arrivée à la profondeur voulue. Alors on procède à l'enlèvement des rampes, auxquelles on a donné environ $1^m,50$ de largeur, pour que deux rouleurs puissent se croiser. On peut, en ménageant des rampes convenables, disposer un atelier tous les 20 mètres de longueur d'une même couche, au lieu de faire enlever toute la couche par le même atelier. Au lieu de procéder par couches de $1^m,60$ d'épaisseur, il peut être convenable, si la nature des terres varie ou si l'eau peut arriver dans la fouille à une certaine profondeur, de modifier cette épaisseur.

Parfois, au lieu de réserver les rampes en déblais, on les établit à l'aide de tréteaux et de plats-bords ; cela permet d'enlever en totalité les tranches successives.

Pour former le dépôt de remblai au moyen de la brouette, on procède par couches de $1^m,60$, à l'aide de rampes inclinées à $0^m,08$ par mètre, et dirigées de manière à diminuer les transports transversaux et les élévations verticales des remblais. Comme au déblai, on peut diviser le travail en ateliers de 20 mètres de long, en réservant des rampes de 1 mètre à $1^m,50$ de large, disposées, autant que possible, sur le bord du remblai, entre le talus naturel des terres, qui est à environ 1 de base pour 1 de hauteur, et le talus définitif, qui est ordinairement à 1 et 1/2 de base pour 1 de hauteur.

Quelle que soit la disposition des rampes, le transport horizontal transversal est toujours considérable et dispendieux ; pour y remédier, on a eu recours à différents appareils mécaniques transformant ce transport horizontal en une élévation verticale.

2° Les dispositions que nous venons de décrire peuvent aussi être adoptées quand on fait usage de *camions* ou de *tombereaux*, mais en réduisant la pente des rampes à $0^m,05$ ou $0^m,06$ par mètre.

Prix des terrassements. — Pour des terrains ordinaires (terre végétale, alluvion, sable et menu gravier) le temps nécessaire à la fouille, en grandes tranchées de plus de $0^m,20$ d'épaisseur et au moins de 2 mètres de largeur, sans embarras d'étais, est à très peu près égal à une fois et demie celui nécessaire à un jet de pelle de $1^m,60$ de hauteur verticale.

Le *cube des déblais* provenant d'une fouille s'obtient en ajoutant

au volume de la fondation elle-même; 1° 1/3 de ce cube pour tenir compte des talus (quand on ne peut opérer en *pleine fouille*); 2° 1/3 à 1/2 en plus, à cause du *foisonnement* des terres (augmentation de volume des terres ameublies).

Temps nécessaire à l'exécution des déblais dans les terrains analogues à celui du sol supérieur de Paris (terres végétales ou gravats rapportés).

Pour un mètre cube	Heures de terrassier.
Fouille en grandes tranchées ayant au moins 2 mètres de largeur de fond, sans étais	0,80
— en tranchées ou rigoles ayant moins de 2 mètres de largeur au fond, avec embarras d'étais	0,90
Jet à la pelle à une distance horizontale de 3 mètres ou à une hauteur verticale de 1m,60, en rigoles ou tranchées ayant au moins 2 mètres de largeur au fond, sans étais ni banquettes	0,50
— à une distance horizontale de 3 mètres ou à une hauteur verticale de 1m,60, en rigoles ou tranchées ayant moins de 2m,00 de largeur au fond, avec étais et banquettes.	0,60
— en brouette, caisse ou camion n'excédant pas 1m,20 de hauteur	0,40
— en tombereau ou en wagon, ou encore sur berge ou sur banquette de 2 mètres de hauteur, en grandes tranchés.	0,60

Les résultats précédents doivent être modifiés selon les données du tableau suivant, quand il s'agit de terres dures, grasses ou humides, et d'un pelletage difficile.

Tableau des quantités moyennes de déblai qu'un terrassier peut piocher et jeter à une hauteur de 1m,60, ou charger en brouette dans une journée de 10 heures de travail, pour différentes natures de sol, en grandes tranchées.

NATURE DU SOL	CUBE FOUILLÉ et jeté à 1m,60 en 10 heures	RÉPARTITION DES HEURES EMPLOYÉES	
		à la fouille	au jet ou à la charge
	m. c.	heures	heures
Terre végétale de diverses espèces (alluvions, sables, etc.)	7,70	6,25	3,75
Terre marneuse et argileuse, moyennement compacte	6,00	6,70	3,30
Terre compacte, dure	5,25	7,10	2,90
Terre crayeuse	4,90	7,00	3,00
Terre fortement imbibée d'eau	4,25	7,24	2,76
Tuf moyennement dur	2,85	8,40	1,60
Tuf très dur	2,38	8,70	1,30
Roc tendre, gypse, enlevé au pic et au coin.	2,00	8,80	1,20

Prix des fouilles

Fouille en excavation ou déblai de 0m,25 d'épaisseur et au dessus, compris nivellement des faces et des fonds, en terre ou gravois, le mètre cube	0fr,51
— des fonds, en tuf	0 ,66
— — en terre glaise	0 ,89
— en terrain pour bâtir, compris jet de terres, chargement et enlèvement avec décharges publiques, le mètre cube	4 ,75
— en rigole ou tranchée jusqu'à 2 mètres de largeur au fond, en terre ou gravois, le mètre cube	1 ,05
— au fond, en tuf	1 ,57
— — en terre glaise	1 ,83
Tranchée en terrain ordinaire de 0m,40 à 0m,50 de large, jusqu'à 0m,50 de profondeur, le mètre linéaire	0 ,45
Remblai de terre ou gravois, compris piochement et jet, le mètre cube	0 ,32
Terre végétale, le mètre cube	4 ,50
Terreau, le mètre cube	6 ,75
Terre glaise, fournie et transportée à pied d'œuvre, le mètre cube	9 ,65

Étrésillonnement des berges. — Quand la fouille, taillée à pic, atteint une certaine profondeur, il faut étrésillonner les berges avec des *étais* en bois placés en *arcs-boutants*. Afin que ces derniers soient moins chargés et qu'on puisse les serrer plus facilement contre les couches de terre, on donne aux berges un talus de 0m,03 à 0m,05 par mètre de profondeur.

Pour les grands terrassements, quand il n'y a pas nécessité absolue de dresser les berges à pic, on les fait se soutenir sans étais en les disposant en redans de 1 mètre à 1m,50 de largeur, et d'une hauteur égale à celle d'un jet de pelle, soit de 1m,60 à 2 mètres. On donne aux faces latérales des redans une inclinaison en rapport avec le degré de cohésion du terrain; cette inclinaison varie de 0m,20 à 0m,50 par mètre de hauteur.

Fouilles de terres imbibées d'eau. — Épuisements. — Les fouilles de terres imbibées d'eau sont plus dispendieuses que celles de terres ordinaires, bien qu'elles soient tenues asséchées au moyen d'épuisements.

Au pont de Croix-Daurade, sur l'Hers, près Toulouse, Laroque, pour implanter les culées sur le roc, a fait exécuter un déblai ayant 3m,50 d'épaisseur en contre-bas de l'étiage, dans un sol formé de sable argileux et de tuf molasse, que la drague ne pouvait attaquer. Les fouilles ont été faites dans l'enceinte d'un batardeau qu'on tenait asséchée au moyen de 2 pompes Letestu de 0m,40 de diamètre, élevant chacune 530 mètres cubes d'eau par 24 heures. L'épuisement de chaque mètre cube est ainsi revenu à près de 9 francs; la fouille, le chargement et le transport, à près de 3 francs par mètre cube.

Aux fondations du pont de l'Aude, à Coursan, les déblais faits dans des terres d'alluvion couvertes de 0m,15 à 0m,20 de hauteur

d'eau, que laissaient constamment les vis d'Archimède, sont revenus, non compris l'épuisement, à 3 fr. 75 le mètre cube, pour la fouille, le chargement des seaux et des civières, et le transport à la distance moyenne de 30 mètres sur un terrain incliné à $0^m,10$ par mètre.

Déblais sous l'eau. — Dragages. — S'il s'agit de roc ou d'un terrain dur et argileux, on a recours à un batardeau pour entourer l'espace à creuser; si l'épuisement est possible, on l'exécute, et la fouille se fait à sec ; mais, dans le cas contraire, on est obligé de se servir de la cloche à plongeur ou du scaphandre, moyens très dispendieux.

Quand le terrain à fouiller dans l'eau est composé de sable et de menu gravier, ou même de terre friable, on fait usage de la drague à main toutes les fois que le volume de la fouille n'est pas assez important pour qu'on ait recours à la drague-machine, ou qu'il est impossible d'amener le bateau dragueur au-dessus de l'excavation.

Sous une profondeur d'eau variant de $2^m,50$ à 4 mètres, deux *dragueurs* expérimentés peuvent ensemble extraire trois bateaux de sable cubant $2^{mc},80$ chacun, soit $8^{mc},40$ par journée de 10 heures ; 2 manœuvres ne font que la moitié de ce travail.

L'emploi de la machine à draguer, lorsqu'il est possible, diminue le prix de revient des fouilles. Une drague mue par un manège à deux chevaux, la profondeur d'eau étant de 3 à 4 mètres, peut draguer 80 mètres cubes en 10 heures.

Le dragage, pour des sables et graviers, est revenu ainsi à 0 fr. 65 par mètre cube. Le prix de transport des sables dragués à une distance de 100 mètres au moyen de barques, de reprise et de transport au camion à 40 mètres, revient à 0 fr. 91 le mètre cube.

Une drague à godets Castor, montée sur un chariot roulant et mue par une locomotive de 4 chevaux, vaut 8.700 francs, tous accessoires compris. La dépense quotidienne est évaluée à 21 fr. 50, soit 0 fr. 30 par mètre cube, amortissement et intérêts non compris.

La drague à treuil et à roulettes employée pour curer le canal de Bourgogne a donné 0 fr. 42 comme prix de revient du mètre cube de déblai.

Le transport des produits dragués par bateau est revenu, à Lyon, à 1 fr. 22 le mètre cube en drague et à 0 fr. 95 en wagon pour des transport jusqu'à 200 mètres. Pour des transports de 200 à 400 mètres, les prix sont montés à 1 fr. 31 et à 1 fr. 04 par mètre cube.

Excavateurs. — Les excavateurs sont des appareils qui effectuent à la fois et mécaniquement la fouille et la charge des terres.

L'excavateur Couvreux est une drague munie de godets et

montée sur chariot roulant. Une machine à vapeur de 20 chevaux actionne les godets, et une autre machine de 4 chevaux fait circuler l'appareil sur sa voie de travail.

La capacité des godets est de 170 litres. Avec une vitesse de 20 tours par minute au tourteau, on peut emplir et vider 30 godets, ce qui produit $5^{mc},10$, ou par journée de 12 heures, 3.672 mètres cubes. Mais, à cause des arrêts accidentels, le travail réel se réduit à 120 mètres cubes à l'heure.

Le poids total de l'appareil est d'environ 40.000 kilog. Le personnel nécessaire à la manœuvre comprend 1 mécanicien, 1 chauffeur et 2 aides ; il faut, en outre, 10 hommes pour l'entretien et le déplacement des voies.

La manœuvre de l'excavateur Couvreux, pour 1.200 mètres cubes, entraîne à une dépense totale de 117 francs, soit 0 fr. 10 par mètre cube.

Voici le détail :

Personnel	57 francs
600 kilogr. de charbon à 4 francs	24 —
2 — d'huile à $1^{f},50$	3 —
Matières premières pour entretien	8 —
Prix de la machine (20.000 fr.), amortissement à 25 0/0 par an pour 200 jours de travail	25 —
TOTAL	117 francs

Extraction des roches. — On opère par gradins, afin que les massifs présentent toujours deux faces libres, ce qui rend leur attaque plus facile, en même temps que cela permet de multiplier les ateliers.

1° *Extraction par abatage.* — Pour les roches trop tendres ou trop fendillées, qui ne permettent pas de faire usage de la poudre, on procède par abatage, en se servant du pic, de la tranche, du coin, du levier, et parfois de la pointerolle. On pratique une tranchée ou saignée de $0^{m},05$ à $0^{m},08$ de largeur dans la partie la plus tendre du rocher, en profitant des veines ou fissures naturelles qui peuvent s'y trouver. On enfonce à la masse des coins dans la tranche, et à l'aide de gros leviers dont l'extrémité recourbée est introduite dans la tranche, on détache les blocs, que l'on débite en moellons transportables, en pratiquant des petites saignées dans lesquelles on enfonce des coins.

Le procédé d'extraction par abatage est employé pour des roches dures et compactes d'un grand prix, qu'on veut obtenir en blocs réguliers, tels que les marbres, les pierres de taille, etc.

2° *Extraction à la poudre.* — Pour l'exécution des déblais, ainsi que pour l'extraction des moellons et des enrochements, le procédé par abatage est remplacé avec économie par la poudre, dont la transformation en gaz produit, dans l'espace qu'elle occupe,

une pression de 4.000 atmosphères, et qui permet de diviser les roches dures et compactes.

On fore dans la roche un ou plusieurs trous de $0^m,03$ à $0^m,06$ de diamètre, et de $0^m.50$ à 2 mètres de profondeur ; on verse la quantité convenable de poudre dans la partie inférieure de ces trous et l'on achève de les remplir au moyen de sable terreux, d'argile ou de débris calcaire, que l'on bourre. On loge une mèche dans toutevla longueur de cette espèce de tampon en terre, ou l'on y réserve un trou pour la recevoir.

La charge de poudre varie de $0^k.60$ à 2 kilogr.

Pour percer les trous de mine, on fait usage du fleuret que l'on frappe avec une masse, en le faisant tourner d'un sixième de circonférence après chaque coup, ou d'une barre en fer rond pesante et portant un tranchant aciéré à son extrémité. Cet outil, appelé *barre à mine*, est soulevé et projeté sur le fond du trou que l'on creuse, en le tournant d'une certaine quantité à chaque coup.

Au fur et à mesure de la descente du trou, on retire les détritus au moyen d'une cuiller en fer, dite *curette*. Pour les roches très dures, afin que la barre à mine ne s'échauffe pas, et aussi pour que la pierre soit moins dure et que le curage soit plus facile, on verse de l'eau dans le trou.

La barre à mine est lancée par un ou deux hommes. Pour le fleuret, deux hommes au moins sont nécessaires, un pour tenir l'outil, et un second pour frapper dessus avec la masse, dont le poids varie de 4 à 6 kilogr. La profondeur de forage produite en un jour par 2 hommes, soit avec le fleuret, soit avec la barre à mine, varie de $0^m,23$ à $0^m,75$.

Quand le trou est arrivé à la profondeur voulue on le cure, puis on le sèche avec des étoupes ou des chiffons passés dans l'œil de la curette. Alors on y verse de la poudre jusqu'au tiers ou la moitié de sa hauteur, ou mieux on y introduit une cartouche, en ayant soin, pour la pousser au fond, de se servir d'un *bourroir* en cuivre ou en bois, afin d'éviter les explosions. La charge mise, on enfonce dans sa partie supérieure, sur le côté du trou, une *épinglette* en cuivre, autour de laquelle on comprime la bourre, à l'aide d'un *bourroir* dont la forme est celle de la barre à mine, si ce n'est que son extrémité est en cuivre et qu'elle porte une échancrure de même diamètre que l'épinglette, dans laquelle celle-ci passe librement, de manière à ne pas gêner le jeu du bourroir. Le bourrage étant complet, on retire l'épinglette, en la faisant tourner, afin qu'elle laisse un trou bien lisse. Le bourroir, passé dans un anneau qui termine à la partie supérieure l'épinglette, rend facile cette opération. On remplit alors le petit trou laissé par l'épinglette avec de la poudre ou des petites fusées, que l'on met en contact avec une mèche soufrée ou un morceau d'amadou, lesquels brûlent assez lentement pour qu'après y avoir

mis le feu l'ouvrier ait le temps de s'éloigner avant que la poudre fasse explosion. Quelquefois, au lieu d'une épinglette on laisse, dans le trou, une paille ou un petit tube en fer-blanc rempli de poudre.

On peut remplacer, dans le bourrage, l'épinglette par des mèches de sûreté, dites de *Bickfort*. Elles sont formées d'une petite corde de coton dont l'âme est un filet continu de poudre recouvert d'un ruban goudronné contourné en spirale. Comme elles brûlent lentement, on peut en allumer directement le bout extérieur et avoir le temps de se garer. Comme elles ne craignent pas l'humidité, quand le trou de mine est sous l'eau ou ne peut être séché, il suffit de placer la poudre dans une cartouche imperméable, en toile ou en papier goudronné, ou en fer-blanc, à laquelle on adapte une de ces mèches imperméables.

Afin d'éviter les pertes de temps et les accidents, on fait partir à la fois tous les trous de mine de l'atelier; il arrive quelquefois qu'un trou de mine rate. On a vu des trous qui, après avoir raté, ont fait explosion 15 ou 20 heures plus tard, par suite de l'inflammation d'autres trous.

Quand les trous de mine ont fait explosion, les ouvriers, à l'aide de pics et de leviers, procèdent à l'abatage des parties de roche détachées par la poudre. Quand il s'agit d'une extraction sur une grande échelle dans une roche attaquable par les acides, comme le sont les calcaires, on peut faire usage du procédé Courbebaisse qui fait revenir le mètre cube à 4 ou 5 francs.

Le procédé Courbebaisse consiste à commencer le forage avec des barres à mine de $0^m,035$ de diamètre et de 2 à 3 mètres de longueur, pesant de 15 à 20 kilogr., à deux bouts aciérés, l'un de $0^m,07$, l'autre de $0^m,06$, manœuvrées par deux ouvriers; à le continuer ensuite avec des barres à mine de 5 mètres de longueur, pesant 35 kilogr., ayant un bout aciéré de $0^m,055$, et l'autre façonné en douille pour recevoir un manche en bois. Ces dernières barres sont manœuvrées par trois ou quatre ouvriers.

Le trou ayant atteint la profondeur voulue, on y descend jusqu'à la limite où doit commencer la corrosion pour faire la chambre à poudre, un tube en cuivre un peu plus étroit que le trou; on lute l'intervalle entre le tube et le trou au moyen d'étoupes et d'argile, que l'on enfonce avec une petite tringle. Une couronne d'étoupes enduites d'argile, fixée à l'extrémité du tube avant de le descendre dans le trou, empêche le lut de descendre au-dessous du tube. Au dehors du trou, le tube s'élève à une certaine hauteur où il se recourbe de manière à amener dans un vase l'acide et les produits de la corrosion. Un second tube plus petit, partant du fond d'un second vase contenant de l'acide chlorhydrique étendu, pénètre dans le premier tube au-dessous de l'ouverture du trou et descend jusqu'au fond de celui-ci, de

manière à dépasser le gros tube de toute la hauteur de la chambre à excaver. On verse l'acide étendu dans le second vase; il descend au fond du trou par le petit tuyau et attaque les parois du rocher; il se dégage de l'acide carbonique, qui remonte par le gros tube, en entraînant avec lui une partie du liquide à l'état de mousse, qu'il projette dans le premier vase. Quand toute la quantité d'acide à employer a passé dans ce vase, on le reverse dans le second, et l'on continue jusqu'à ce que l'acide soit saturé et transformé en chlorure de calcium. Au lieu d'employer deux vases, on peut n'en avoir qu'un, duquel part l'acide et dans lequel il revient en mousse. La force motrice qui produit le mouvement du liquide consiste dans la différence de densité de l'acide descendant par le petit tuyau, et de celui mélangé de mousse remontant par le gros.

Les vases les plus commodes sont de vieilles futailles que l'on peut goudronner. Le gros tube est en cuivre, que l'on pourrait préserver de l'acide en le couvrant d'une couche de goudron; le petit tube est en plomb. Ces tubes peuvent être en gutta-percha ou en caoutchouc vulcanisé.

La partie de trou à corroder doit être bien étanche. Dans le cas où l'on n'aurait pas pu éviter les fissures, on cherche à les boucher par un écoulement d'eau argilée ou plâtrée. On peut forcer cette eau à pénétrer dans les fissures en la comprimant avec une barre garnie d'étoupes fonctionnant comme un piston et que l'on chasse à coups de marteau. Quelquefois, quand les fissures sont faibles et que l'acide ne s'y perd que lentement, on le verse goutte à goutte dans le trou en supprimant l'appareil des tubes.

Quand la cavité est grande, on la vide avec de petits seaux ou de longs paquets de chanvre fixés au bout d'une ficelle; puis on l'étanche et on la sèche avec des paquets d'étoupes qu'on retourne avec un tire-bourre emmanché d'une longue perche. Alors on procède au chargement, en versant la moitié de la poudre, descendant une mèche Bickfort si la mine doit partir isolément, et versant le reste de la charge. On bourre ensuite avec du sable versé, qu'on tasse jusqu'à l'orifice du trou, et l'on n'a plus qu'à mettre le feu.

On trouve économie à mêler à la poudre de la sciure de bois sèche. Pour faire descendre et tasser soit la poudre, soit le sable sec qui doit servir de bourre, on descend dans le trou une tige en bois ou en cuivre, et on l'agite, en la remontant à mesure qu'on verse la poudre ou le sable; on doit proscrire les tiges en fer.

Si l'on a une série de mines à faire éclater simultanément, on doit, après avoir versé la moitié de la poudre, descendre dans chacune un petit tube en fer-blanc renfermant une mèche à com-

bustion rapide, formée d'un simple fil de coton non retors enduit d'une pâte de poudre et d'alcool bien séchée, achever de verser la poudre, bourrer avec du sable versé en le tassant autour du tube en fer-blanc, réunir en dehors toutes les mèches rapides à peu près de même longueur, et mettre le feu à leur réunion, au moyen d'une mèche soufrée, et en prenant toutes les précautions convenables. On aurait avantage à employer une pile électrique.

Le carbonate de chaux exige 0,72 de son poids d'acide chlorhydrique pur pour être décomposé. Si l'on emploie l'acide du commerce d'une densité de 1,20 et contenant 0,40 d'acide pur, chaque kilogramme de carbonate de chaux consomme, pour sa décomposition, $1^{kg},80$ d'acide du commerce, et dégage $0^{kg},43$, ou 217 litres d'acide carbonique.

Courbebaisse a essayé son procédé sur des masses compactes de marbre d'une densité de $2^{m},70$. Chaque décimètre cube vide, pouvant loger 1 kilogr. de poudre, demandait donc pour sa création $2,70 \times 1,80 = 4^{kg},86$ d'acide ; la quantité déduite de l'expérience s'est trouvée de 6 kilogr.

Le procédé Courbebaisse donne un prix d'extraction de 0 fr. 60 le mètre cube.

Dynamite. — L'emploi de la dynamite désagrège parfaitement les terrains compacts, grâce à son action violente.

Un trou de $0^{m},05$ de diamètre, de 2 mètres de longueur, percé tous les 4 mètres de distance, chargé de 250 grammes de dynamite n° 3, bourré par une hauteur de terre de 1 mètre, désagrège une terre compacte jusqu'à 2 mètres de profondeur. On emploie aussi ce procédé pour déblayer le terrain de souches et troncs d'arbres.

« Il convient, dit Alfred Durand-Claye, de commencer par déblayer nettement l'arbre ou la souche et de séparer à la hache les principales racines latérales. A moins de dimensions exagérées de la souche, une seule cartouche avec mèche Bickford suffit.

« Le trou de mine est pratiqué avec une tarière allemande, au diamètre de $0^{m},025$ à $0^{m},028$, soit dans l'axe, soit de côté, au travers de la couronne des racines jusqu'au cœur du tronc. La charge est de 50 à 65 grammes de dynamite ; pour une souche à chicot, ayant un fort pivot, la charge doit atteindre 100 à 133 gr. Pour des souches de plus de 1 mètre avec fortes racines latérales, on perfore ces dernières et on les fait sauter isolément. En 10 minutes, des blocs noueux de chêne de 1 mètre à $1^{m},20$ de diamètre peuvent être fendus de 3 à 8 morceaux, moyennant une dépense de 28 à 40 francs environ. »

Le professeur Heyne cite une fouille pratiquée dans de l'argile compacte à l'aide de la nitroglycérine. On pratiqua avec une sonde un trou de $3^{m},80$ de profondeur et $0^{m},05$ de large, dans

lequel on introduisit $2^{kg},400$ d'huile explosive ; dans le liquide on jeta des cailloux pour les répartir sur une grande hauteur. On obtint de la sorte une masse de 200 mètres cubes déchirée dans tous les sens, et la fouille ne revint guère qu'à 0 fr. 12' par mètre cube. Avec des masses plus fortes, la dépense unitaire serait encore abaissée.

Charrue. — Les Américains emploient la charrue pour les fouilles.

Pour creuser des fossés, on fait usage d'une grande charrue capable de tracer un sillon de $0^{m},30$ de profondeur; on fait ensuite passer le racloir pour atteindre une profondeur pouvant aller à $1^{m},20$. La charrue et le racloir sont successivement attachés à une poutre en fer s'engageant sous un wagon plate-forme et à un appareil de levage placé sur le wagon.

Pour équilibrer ce poids, on dispose environ 10 tonnes de rails sous le plancher de la plate-forme. Tout le système pèse 20 tonnes, et est remorqué par une locomotive.

Mine sous-marine. — Pour extraire la *roche sans nom* existant à l'entrée du port d'Alger, Ravier a fait usage d'un genre de mine, employé aux Etats-Unis. On pose sur la roche à faire éclater une ou plusieurs grosses bouteilles, dites *bonbonnes*, de 50 à 60 litres de capacité et remplies de poudre à mine, et l'on y met le feu au moyen d'un courant électrique. La colonne d'eau fait office de bourrage, et chaque mine brise de 5 à 6 mètres cubes de rocher. L'effet extérieur consiste en une gerbe d'eau de 5 à 6 mètres de hauteur et de 4 à 5 mètres de diamètre, d'un beau spectacle. Ce moyen a permis de déblayer plusieurs milliers de mètres cubes et, par suite, de niveler à 10 mètres de profondeur sous l'eau l'emplacement occupé par la roche, de manière à permettre la libre circulation des vaisseaux de haut bord.

Enlèvement des terres. — Lorsque les fouilles ont de grandes dimensions et une certaine profondeur, on réserve des rampes dans les déblais, afin qu'on puisse faire arriver les tombereaux ou camions au fond de la fouille et les charger directement, ce qui diminue les frais. S'il y a impossibilité, on a recours à la brouette, soit pour monter simplement les déblais au bord de l'excavation, où on les charge ensuite en tombereaux ou en camions, soit pour les conduire à la décharge, si celle-ci est peu éloignée ; on réserve de petites rampes dans les déblais ; on les établit à l'aide de plats-bords.

Si le fond de la fouille est inaccessible à la brouette, on établit sur les parois de la fouille des *banquettes* en retraite l'une sur l'autre, sur lesquelles se placent des ouvriers qui jettent à la pelle, sur la banquette supérieure ou sur la berge, les terres qu'on leur envoie de la banquette immédiatement inférieure ou du fond de la fouille. Ces banquettes, dont la distance verticale varie de

$1^m,50$ à 2 mètres, s'établissent quelquefois avec des planches.

Il peut arriver que la fouille soit trop étroite et sa profondeur trop considérable pour qu'on puisse employer ce dernier moyen; alors, pour monter les terres, on a recours au treuil, dont on munit la corde d'un seau, d'une caisse ou d'un *bourriquet*, que l'on remplit au fond de la fouille et vide à la surface du sol. C'est le procédé dont on fait usage pour creuser les puits et percer les souterrains.

Transport des terres. — Le transport des terres se fait en les jetant à la pelle, lorsque la distance n'est que de quelques mètres; mais, quand elle est plus considérable, on fait usage de brouettes, de camions, de tombereaux, etc. 1 mètre cube de terre franche pèse 1.400 kilogr.

Transport à la brouette. — Les brouettes employées pour les terrassements ont ordinairement 1/25 de mètre cube de capacité; cependant on en fait dont le contenu atteint 1/20, et d'autres où il n'est que de 1/33 de mètre cube; elles servent pour les transports jusqu'à 90 mètres.

Le relais est à peu près constant : il est de 30 mètres sur un plan horizontal, et de 20 mètres sur les rampes de $0^m,08$ par mètre. Le poids de la charge des brouettes est très variable; il ne doit pas être inférieur à 60 kilogr.; il est ordinairement de 70 kilogr.; on le porte quelquefois à 80 et à 100 kilogr.

Un fort rouleur à la tâche, dans une journée de 8 à 9 heures, parcourt environ 30 kilomètres avec sa brouette tant pleine que vide.

La quantité d'ouvrage faite par un rouleur augmente par l'emploi d'un bon système de chemins en planches, bien unis et souvent nettoyés avec la pelle ; c'est surtout dans les rampes que les chemins de cette nature sont souvent nécessaires, et, lorsqu'il pleut, on doit les saupoudrer de sable ou de décombres, pour empêcher les travailleurs de glisser. Il faut enlever souvent la terre qui reste adhérente à la brouette.

Il y a avantage à ramener le centre de gravité de la charge sur le devant de la brouette, et de réduire la longueur des bras à $0^m,50$ ou $0^m,60$, minimum de longueur nécessaire pour que le mouvement des jambes ne soit pas gêné; l'une et l'autre de ces précautions tendent à reporter la charge sur la roue de la brouette, au lieu de la suspendre aux bras de l'homme.

Pour une terre facile, un ouvrier chargeant 20 mètres cubes en 10 heures ou 36.000 secondes, pour charger une brouette de $0^{mc},04$, il mettra $\frac{36.000 \times 0,04}{20} = 72$ secondes, et, comme un rouleur parcourt 30.000 mètres dans sa journée de 10 heures, ou $\frac{30.000 \times 72}{36.000} = 60$ mètres en 72 secondes, le relais sera donc de 30 mètres, ou 60 mètres pour l'aller et la venue.

Transport au camion. — Dans un petit tombereau traîné par trois hommes on charge habituellement $0^{mc},20$ de terre.

S'il n'y avait pas de temps d'arrêt, le camion parcourrait 30.000 mètres en 10 heures, et, comme il faut compter sur 50 à 60 secondes, soit 2 minutes pour s'atteler au camion, le décharger et le remettre en marche, il en résulte que le temps employé pour transporter le contenu, $0^{mc},20$, du camion à une distance de 30 mètres est :

$$0,02 + \frac{10 \times 30 \times 2}{30.000} = 0^{h},04.$$

Pour transporter 1 mètre cube à la même distance, il faut donc :

$$\frac{0,04 \times 1}{0,2} = 0^{h},2.$$

Si la distance de transport est de 60 mètres, le transport d'un camion exige :

$$0,02 + \frac{10 \times 60 \times 2}{30.000} = 0^{h},06 ;$$

ce qui fait $\frac{0,06}{0,2} = 0^{h},3$ par mètre cube.

A une distance de 90 mètres, ces temps sont respectivement $0^{h},08$ et $0^{h},4$.

Un ouvrier chargeant 20 mètres cubes de terre en 10 heures, deux ouvriers mettent $\frac{10 \times 0,2}{20 \times 2} = 0^{h},05$ pour charger le contenu $0^{mc},2$ du camion. Ce temps, comparé à $0^{h},08$ que mettent les rouleurs pour parcourir un relais de 90 mètres, fait voir que, pour une terre aussi facile, on peut, à la rigueur, fixer le relais à moins de 90 mètres, cependant il convient de le porter à 100 mètres.

Transport au tombereau. — Pour transporter les terres d'une fouille entre 90 et 500 mètres, on fait usage de tombereaux attelés d'un cheval, et d'une capacité de $0^{mc},50$. A Paris, on les fait plus grands ; ils sont traînés par 2 chevaux, et peuvent contenir de 1 à $1^{mc},50$ de terre. On fait usage de tombereaux à bascule cubant $1^{mc},80$; ils coûtent 500 fr. et pèsent 750 kilogr. Un tombereau de $0^{mc},7$ peut contenir 1.000 kilogr. de terre franche.

Le temps nécessaire au transport du tombereau peut se diviser en trois parties distinctes :

1° *Le temps nécessaire au chargement.* — En supposant qu'un homme puisse charger 15 mètres cubes de terre en 10 heures de travail (dans le plus grand nombre de cas il convient de réduire ce nombre à 12 mètres cubes), si l'on représente par C la capacité du tombereau, et par N le nombre des chargeurs, ce temps sera $\frac{10 \times C}{15 \times N}$. Le nombre N ne doit pas dépasser 3, car autrement

les chargeurs se gèneraient; ce nombre comprend le conducteur, qui travaille comme chargeur.

2° *Le temps nécessaire au mouvement.* — Un cheval attelé à un tombereau parcourant 30.000 mètres en 10 heures, pour parcourir R relais de 100 mètres, aller et retour, il mettra :

$$R \frac{10 \times 200}{30.000} = R \times 0,067 \text{ heure.}$$

3° *Le temps nécessaire au déchargement et à la mise en marche du tombereau.* — Ce temps peut être évalué à $0^h,033$ ou $0^h,05$, suivant la capacité du tombereau.

Le temps employé pour charger un tombereau de 1 mètre cube de capacité, le conduire à 100 mètres de distance et le décharger, en ayant deux chargeurs avec le charretier, est :

Chargement.....	$0^h,222$	de deux terrassiers.
Chargement.....	0 ,222	$0^h,339$ de tombereau à deux chevaux et de son conducteur.
Parcours de chaque 100^m (200^m pour l'aller et retour).....	0 ,067	
Déchargement.....	0 ,050	

Si l'on n'avait qu'un tombereau, et que les chargeurs n'eussent pas d'occupation pendant que le tombereau est en marche, au lieu de tenir compte seulement de $0^h,222$ à chaque terrassier, il faudrait supposer qu'ils travaillent aussi longtemps que le tombereau, c'est-à-dire pendant $0^h,339$ pour le transport du mètre cube de terre à 100 mètres.

Transports à la banaste, au couffin et à dos d'âne. — Ces moyens sont employés pour le transport des déblais et des matériaux dans les pays montagneux, où la pente trop rapide des chemins rend à peu près impossibles les modes ordinaires de transport.

La *banaste* est un panier en bois de châtaignier contenant $0^{mc},01$. Le *couffin* est un panier en jonc d'une capacité à peu près égale à celle de la banaste. Ces paniers se portent sur les épaules à la manière des coltineurs de charbon.

Le *transport à dos d'âne* se fait en chargeant, sur le dos de l'âne, 2 bennes ou 2 couffins de $0^{mc},04$ chacun.

Wagons et wagonnets avec voie portative [1]. — Les véritables instruments de transport sont les wagons roulant sur voie ferrée. Ils sont appelés à faire disparaître presque tous les autres. Les types de ces wagons sont nombreux.

Le *porteur Decauville* se meut sur une voie composée de travées de 5 mètres comprenant 2 rails Vignole à large patin, rivés sur des traverses en acier. La voie a $0^m,40$, $0^m,50$ ou $0^m,60$ de large. Le rail pèse 7 kilogr. par mètre courant.

Le poids d'une travée de 5 mètres est de 90 kilogr. pour la lar-

[1] D'après Debauve, *Procédés et Matériaux de construction*, 1894.

geur de $0^m,60$, et 2 hommes la portent facilement. Les rails sont reliés par des traverses en acier embouti qui portent 2 trous destinés à recevoir des boulons ou des tire-fonds pour fixer des planches sous les traverses en fer, afin d'augmenter la surface d'appui sur le sol, si cela devient nécessaire. On établit la voie dans une fouille de $0^m,05$ de profondeur. Lorsque la traction s'effectue par locomotive, une couche de ballast de $0^m,10$ à $0^m,15$ est nécessaire.

La jonction des voies se fait sans chevillette ni boulon, en posant simplement les travées au bout l'une de l'autre; un des bouts, appelé bout mâle, est armé d'éclisses rivées sur un seul côté du rail; en poussant ce bout mâle sous le champignon du rail déjà en place, portant le bout femelle, on obtient une solidité telle que la voie peut être soulevée en entier sans que la jonction se détruise. Le montage est donc des plus rapides (*fig.* 144).

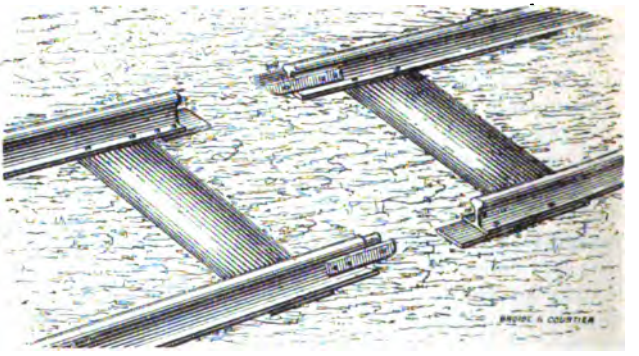


Fig. 144.

Un jeu de courbes à droite et de courbes à gauche, de $1^m,25$ et de $2^m,50$ de longueur, de changements de voie à droite et de changements à gauche, permet de rendre le tracé aussi flexible qu'on le veut, et de brancher sur une voie 2 ou plusieurs autres voies. Un système d'aiguillage simple s'applique à la voie Decauville.

Le véhicule à employer pour les terrassements est une caisse à bascule, équilibrée sur deux axes et qui renverse d'une seule fois son contenu. Cette caisse est en tôle de 5 millimètres; mais on fait aussi des caisses ayant les bouts en tôle, le fond et les côtés en planches boulonnées sur armature en fer.

On fait aussi des caisses avec fond à claire-voie susceptibles de servir, par exemple pour le transport des cailloux destinés à fabriquer le béton; le lavage des cailloux se fait dans la caisse

même. La caisse (*fig.* 145) est munie, à chaque bout du bâti, d'un crochet d'attelage et d'un tampon sur plan circulaire formé d'une bande d'acier. Les caisses à traction d'homme sont montées simplement sur bâti rectangulaire.

Pour la voie de $0^m,40$, la capacité de la caisse est de 250 ou 300 litres, c'est-à-dire de 5 à 6 fois celle d'une brouette, et cependant un seul ouvrier peut pousser cette caisse avec plus de vitesse et moins de fatigue qu'il ne ferait avec une brouette. A la voie de $0^m,50$ ou $0^m,60$ convient le wagon d'un demi-mètre cube, d'une longueur de caisse de $1^m,20$ et d'une hauteur totale de $1^m,15$. Les roues sont en fonte, de $0^m,30$ de diamètre, avec coussinets en bronze et boîtes à huile assurant un graissage continu. Le poids du véhicule est de 310 kilogr.

Avec ce système un ouvrier peut charger le wagonnet, renfermant 700 à 750 kilogr. de terre, soit 1/2 mètre cube, en 12 minutes, et peut, à la vitesse de 1 mètre par seconde, exercer une poussée continue de 12 kilogr.; il pourra donc pousser le wagonnet sur rampe de 5 millimètres. Pendant les 12 minutes qu'un ouvrier met à charger ce wagonnet, le rouleur, qui perd 2 minutes aux extrémités de sa course, parcourt 600 mètres, soit 300 mètres aller et retour. Telle sera la longueur du relais.

Fig. 145.

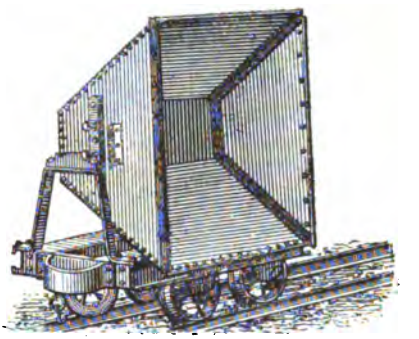


Fig. 146.

Si la distance de transport est plus grande, on établit une voie d'évitement tous les 300 mètres; si la distance est moindre, il faudra mettre plus d'un ouvrier au chargement et avoir plusieurs wagonnets en stationnement.

Un seul ouvrier peut donc transporter, avec ce système, 15 mètres cubes à 300 mètres, soit environ 10 fois plus qu'avec une brouette.

A une distance de 60 mètres, en comptant toujours 2 minutes perdues par voyage, le rouleur fera 15 voyages à l'heure; il

transportera 45 mètres cubes par jour et, s'il est payé 3 francs, le prix de revient du transport de 1 mètre cube sera de 1 centime 1/3; il s'élèverait à 36 centimes avec la brouette.

Les wagonnets peuvent être traînés par des chevaux. Un bon cheval peut exercer un effort continu de 55 kilogr. à la vitesse de 3.600 mètres à l'heure; comme le train de wagonnets reviendra à vide, on peut donner à un cheval 5 wagonnets, contenant ensemble $2^{mc},50$. Le cheval marche à côté de la petite voie, en tirant avec une chaîne de $4^{m},50$ de long.

Le temps perdu, tant à l'arrivée qu'au départ, peut ne pas dépasser 5 minutes, soit 10 minutes par voyage, temps correspondant à un parcours de 600 mètres.

On fera un voyage à la distance d en $\frac{2d}{60}$ minutes; dans une journée de 10 heures il y aura :

$$\frac{600}{\frac{2d}{60} + 10} \text{ ou } \frac{18.000}{d + 300} \text{ voyages.}$$

Le cube transporté sera de $\frac{18.000}{d + 300}\, 2^{m3},5$. La dépense correspondante sera de 9 francs par chaque cheval et son conducteur, plus 3 francs pour un homme destiné à entretenir la voie et à aider au déchargement; dépense totale : 12 francs.

A une distance de 200 mètres, on fera pour 0 fr. 25 au wagonnet le transport qui coûterait le double au tombereau.

Mais il faut ajouter l'intérêt et l'amortissement de l'outillage.

La voie droite de $0^{m},50$ en rails de 7 kilogr. coûte 7 fr. 25 le mètre courant. Il faut ajouter 4.764 francs environ pour courbes, croisements, aiguilles, harnais, chaîne de traction, pour 16 wagons de $0^{m},50$ (220 fr. l'un), pour outils de réparation et pièces de rechange.

Les frais d'entretien et d'amortissement de la voie ne dépasseront pas 15 0/0 par an, et ceux du matériel 20 0/0. Le transport à la distance d donnerait une longueur de chantier, et par conséquent, une longueur de voie égale à $2d$; on aura pour la dépense annuelle :

$$(0,15 \times 7,25 \times 2d + 0,20 \times 4.764) = (2,175d + 950) \text{ francs.}$$

Si l'on admet 250 jours de travail, la dépense quotidienne du matériel ressort à

$$0,0087d + 3 \text{ fr. } 8;$$

le cube transporté par jour est :

$$\frac{18.000}{d + 300}\, 2^{m3},5.$$

On trouve qu'à une distance de 200 mètres le prix de revient par wagonnet serait de 0 fr. 35, au lieu de 0 fr. 52 au tombereau. Il ne faut pas appliquer au wagonnet, dans ce cas, la traction à chevaux, qui donne lieu à trop de perte de temps.

A une distance de 1.000 mètres, le prix serait de 0 fr. 837 au wagonnet, et 1 fr. 40 au tombereau.

La dépense d'acquisition du matériel pour 1 kilomètre, s'élevant à 12.000 francs, pourrait être payée par l'économie réalisée sur l'exécution d'une tranchée de 20.000 mètres cubes.

Aux avantages de la voie portative il faut ajouter qu'un wagonnet de 500 litres équivaut à 12 brouettes, et que l'entretien, comme l'amortissement de ces brouettes, doit être au moins égal à celui du wagonnet.

Voie ferrée ordinaire avec wagons de terrassement. — 1° *Traction de chevaux*[1]. — Un wagon de terrassement ne dure que 3 ans; si l'on tient compte de la valeur de la ferraille lorsqu'il est revenu, si l'on admet 250 jours de travail par an, l'intérêt et l'amortissement doivent être comptés à 0 fr. 75 par journée de travail. L'entretien et le graissage coûtent aussi 0 fr. 75.

Le loyer revient donc à 1 fr. 50 pour les wagons de 1^{mc},50 à 3 mètres cubes de capacité.

Il faut 6 minutes pour lancer un wagon, le décharger et le ramener au garage; on peut donc, avec une voie, décharger au moins 10 wagons à l'heure et 100 à 120 à la journée. Avec 2 voies, on peut décharger 210 wagons, et avec 3 voies 240 à 270 wagons. Ce qui donne, avec des wagons de 3 mètres cubes, 650 à 700 mètres cubes pour le débit. Il faudra :

3 lanceurs (cheval et conducteur à 8 fr.).....	24 fr.
9 ouvriers à 3 fr. (3 ouvriers par voie).....	27
1 aiguilleur à 2 fr.....	2
	53 fr.

soit environ 0 fr. 08 par mètre cube.

S'il n'y a qu'une voie, on comptera 0 fr. 04 par mètre cube. Avec des wagons de 1^{mc},50, les prix au mètre cube seraient doublés.

Avec la brouette, un homme payé 3 francs, chargeant 15 mètres cubes par jour, la charge du mètre cube revient à 0 fr. 20. Pour les tranchées ouvertes au wagon, il faut ajouter une plus-value de 0 fr. 05 pour un petit déblai, pouvant aller à 0 fr. 25 pour une tranchée importante.

[1] Ce système est employé pour l'exécution des terrassements des lignes de chemins de fer. Les voies qui servent pour les wagons de terrassements sont presque toujours des voies provisoires et non pas les voies définitives du chemin de fer.

Voici le détail de la plus-value pour une tranchée d'un débit de 600 mètres cubes :

Frais d'ouverture de cunette.	0f,04	par mètre cube
Chevaux pour distribuer les wagons, aiguilleur surveillant, 24 fr. par jour, soit	0 ,04	—
Transport à un relais de brouette du quart au moins des déblais : un relais coûte 0f,16 par mètre cube, d'où une plus-value de	0 ,04	—
Les ouvriers, étant gênés, ne chargent plus que 10 mètres cubes au lieu de 15, ce qui augmente de.	0 ,10	—
TOTAL DE LA PLUS-VALUE.	0f,22	par mètre cube.

Pour une grande tranchée il faut donc compter au moins 0 fr. 40 pour la charge de 1 mètre cube.

Si V est le débit journalier de la tranchée ou le nombre de mètres cubes que l'on veut extraire et transporter chaque jour, au moyen de wagons ayant une capacité v ; par jour, il faudra remplir $\frac{V}{v}$ wagons.

On met 4 hommes pour charger un wagon ; ils chargent 40 mètres cubes en 10 heures, ou 4 mètres à l'heure, ou un wagon de capacité v pendant $\frac{60v}{4}$ minutes.

Il faudra donc un train toutes les $\frac{60v}{4}$ minutes ou, pendant une journée (600 minutes), $\frac{40}{v}$ trains.

Chaque train devra emporter un cube $\frac{Vv}{40}$ et sera composé de $\frac{V}{40}$ wagons.

Ces chevaux traînent les wagons à la vitesse de 1 mètre par seconde, soit 60 mètres à la minute. Si L est la distance de transport, le parcours sera 2L, et, comme toutes les $\frac{60v}{4}$ minutes, il doit arriver un train vide au déblai pour remplacer le train qui part, les trains devront se succéder à une distance égale à $60 \times \frac{60v}{4}$ minutes. Le nombre de trains en marche sera donc :

$$\frac{2L}{\frac{60 \times 60v}{4}} \text{ ou } \frac{L}{450v},$$

et chacun d'eux comprendra $\frac{V}{40}$ wagons.

On doit compter, en outre, sur 20 0/0 de wagons de rechange à cause des réparations, ce qui donne pour le nombre total des véhicules :

$$1{,}2\,\frac{V}{40}\left[2+\frac{L}{450v}\right].$$

La distance moyenne de transport d est la distance qui sépare le centre de gravité de la tranchée du centre de gravité du remblai.

La plus grande longueur L d'un chantier ne diffère guère du double de la distance d.

Si l'on remplace L par $2d$, et que l'on multiplie le résultat par 1 fr. 50, la dépense journalière du parc des wagons sera :

$$0^{f},09\ V\left[1+\frac{d}{450v}\right].$$

On ne peut guère atteler à un train plus de 3 chevaux avec un conducteur, le tout donnant une dépense de 24 francs.

Le train comprendra 9 wagons de la capacité de $1^{mc},50$, ou 6 wagons de 3 mètres cubes ; ce qui donne, dans le premier cas, pour la valeur C du chargement, $13^{m},50$, et dans le second cas, 18 mètres.

La longueur moyenne parcourue à chaque voyage est $2d$, et il y a un temps perdu correspondant à 600 mètres. Le convoi fera donc par jour un nombre de voyages égal à $\frac{36.000}{2d+600}$ et transportera C fois ce nombre de mètres cubes pour une dépense P.

D'où, pour la valeur de la dépense par mètre cube :

$$\frac{P\,(2d+600)}{c\times 36.000}.$$

La dépense de la voie est difficile à évaluer.

Les rails coûtent, neufs, 200 à 230 francs la tonne, et se revendent 100 francs lorsqu'il faut les mettre au rebut. Une voie en rails de 12 ou 15 kilogr. coûtera donc 5 fr. 28 ou 6 fr. 60 pour l'acquisition de rails par mètre courant.

Des traverses de $0^{m},20$ sur $0^{m},12$ et 2 mètres cubent $0^{mc},048$ et peuvent s'obtenir, en certains pays, à 2 francs et moins, mais il est prudent de les compter à 3 francs. Il en faut une par mètre courant. Ajoutant 1 fr. 50 pour la pose de la voie et les fournitures accessoires, on arrive à une dépense totale de 10 francs, de 11 fr. 50 par mètre courant pour les voies avec des rails de 12 ou 15 kilogr.

On compte le déplacement, l'intérêt et l'amortissement du matériel à 25 0/0 par an, soit 2 fr. 50 à 3 francs par mètre courant par an. Il faut un cantonnier par kilomètre de voie pour l'entre-

tien, soit 1 franc en plus par mètre courant. La voie est portée ainsi à 3 fr. 50 ou 4 francs.

En admettant, pour une longueur L ou $2d$ de chantier, une longueur totale de voies de $3d$, on arrive à une dépense annuelle de $12d$ pour 250 jours de travail, soit 0 fr. 042 ou 0 fr. $048d$ par jour.

Ainsi, pour un débit journalier V de 650 mètres cubes, la dépense s'établit comme suit par mètre cube.

Déchargement	$0^f,08$
Plus-value pour chargement	0 .20
Frais du parc des wagons $0^m,09\left(\frac{1+d}{450v}\right)$	avec wagons de $1^m,50$.... $0^f,09 + 0,000135\,d$. avec wagons de 3 mètres. $0^f,09 + 0,000067\,d$.
Transport $\frac{P\,(2d + 600)}{C \times 36.000}$	avec wagons de $1^m,50$.... $0^f,03 + 0,0001\,d$. avec wagons de 3 mètres. $0^f,022 + 0,00007\,d$.
Frais de la voie $\frac{0^f,042}{V}\,d$ ou $\frac{0^f,048}{V}\,d$	avec rails de 12 kilogr.... $0,000065\,d$. avec rails de 15 kilogr.... $0,000074\,d$.

Le prix de revient du transport de 1 mètre cube à la distance d sera donc :

1° Avec wagons de $1^{mc},5$ et rails de 12 kilogr. :

$$0^f,40 + 0,0003\,d.$$

2° Avec wagons de 3 mètres et rails de 15 kilogr. :

$$(1) \qquad 0^f,392 + 0,00021\,d.$$

Ces formules s'appliquent à un débit considérable et à de grandes tranchées.

Si l'on voulait modérer le débit, se contenter d'une voie au chargement comme au déchargement, n'avoir à la fois qu'un train en marche (soit 6 wagons donnant 18 mètres cubes, soit un matériel de 22 wagons coûtant 33 francs par jour), la dépense s'établirait ainsi :

Déchargement		$0^f,04$
Plus-value pour chargement		0 ,10
Dépense de la voie	$0,00000012\,d^2$	$+ 0,00004\,d$.
Frais du parc des wagons		$0,0305 + 0,000102\,d$.
Dépense de transport		$0,022 + 0,00007\,d$.
(2) Total		$0^f,20 + 0,000212\,d + 0,00000012\,d^2$.

La comparaison des formules (1) et (2), dont la première s'applique aux grandes tranchées et à un gros débit journalier, tandis que la seconde vise les petites tranchées pour lesquelles

il n'y a à la fois qu'un train de wagons pleins en marche, cette comparaison conduit aux prix de revient ci-après par mètre cube, en regard desquels on a mis les prix du transport au wagonnet et au tombereau, par mètre cube :

DISTANCES MOYENNES	500 m.	1.000 m.	1.500 m.	2.000 m.
Transport au wagon par chevaux pour grandes tranchées et grand débit...	0f,497	0f,602	0f,707	0f,812
Transport au wagon par chevaux pour petites tranchées et débit limité...	0 ,336	0 ,532	0 ,788	1 ,104
Transport au wagonnet, voie portative.....	0 ,49	0 ,84	1 ,28	1 ,84
Transport au tombereau.....	0 ,80	1 ,40	1 ,80	2 ,30

Ce tableau montre que l'emploi du wagonnet et de la petite voie est avantageuse tant que la distance moyenne n'atteint pas 900 à 1.000 mètres. Au delà, c'est le wagon qui l'emporte.

Les formules de prix à transport en usage dans les compagnies de chemins de fer, qui comprennent le bénéfice des entrepreneurs, paraissent établies en vue des wagons de $1^{mc},5$. Le chemin de fer de l'État donne :

$$0^f,55 + 0,0005\,d.$$

La Compagnie du Nord indique :

$0^f,57 + 0,0003\,d$ pour transport sur rampes inférieures à 0,006,

et :

$0^f,57 + 0,0006\,d$ pour transport sur rampes supérieures à 0,006.

2° *Traction de locomotives.* — Quand on se sert de locomotives, il faut recourir à des wagons d'au moins 3 mètres cubes de capacité. On n'applique ce procédé qu'à de grandes tranchées ou à un grand débit.

Supposons qu'on se sert d'une machine de 20 tonnes coûtant 40.000 francs.

La vitesse d'une machine à terrassements circulant sur des voies imparfaites doit être limitée à 10 ou 12 kilomètres à l'heure, soit 3 mètres à la seconde. Le temps perdu au départ, à chaque extrémité, pour la manœuvre, est de 10 minutes. Soit, en tout, 20 minutes de perte par voyage.

Si l'on n'est point pressé, on peut se contenter de 2 trains : l'un au chargement, l'autre en marche ou au déchargement.

Une locomotive de terrassements ne dure guère plus de 7 ans ; pour l'amortissement, l'intérêt et l'entretien, on compte 25 0/0 du prix d'achat ; pour la locomotive de 20 tonnes, c'est donc 10.000 francs par an.

La dépense quotidienne de cette locomotive s'établit ainsi :

Un mécanicien	10f	»
Un chauffeur ou aide	4	»
Deux garde-freins ou graisseurs	6	»
Un garde de nuit	4	»
Alimentation d'eau	1	50
1.500 kilogr. de combustibles à 40 fr. la tonne	60	»
Graissage, torchons, étoupe	3	»
Intérêt, amortissement et entretien	40	»
TOTAL	128f	50

La distance moyenne de transport étant d, la dépense annuelle de la voie, pour 250 jours de travail, sera $15d$ ou 0 fr. $06d$ par jour.

Sur une voie dont les rampes ne dépassent pas 5 à 6 millimètres par mètre, la machine de 20 tonnes peut traîner 23 wagons ou 69 mètres cubes. La vitesse étant de 3 mètres à la seconde, 180 mètres à la minute, et le temps perdu étant de 20 minutes à chaque voyage, ce temps correspond à un parcours de 3.600 mètres.

La machine fait 104.000 mètres en 10 heures.

Le nombre de voyages quotidiens sera donc de $\frac{104.000}{2d + 3.600}$ à la distance d, et le cube transporté, V, s'élèvera à $\frac{104.000 \times 69}{2d + 3.600}$.

Il y aura 23 wagons en marche, et 23 sur chaque chantier, plus 20 0/0 en réserve, soit un parc de 85 wagons coûtant par jour:

$$85 \times 1^f.50 = 130 \text{ fr. } \textit{environ}.$$

Cette dépense, divisée par le cube V, donne, par mètre: 0 fr. 07 + 0,000036d.

Le transport proprement dit absorbe 125 francs par jour qui, répartis sur le volume V, donnent par mètre cube:

$$0 \text{ fr. } 063 + 0{,}000035d.$$

Voici la récapitulation des dépenses:

Frais de déchargement	0f,08	
Plus-value pour chargement	0 22	
Frais du parc des wagons	0 07	+ 0,000036d
Frais de la voie	0 ,000030 d	+ 0,000000017d^2
Frais de traction	0 ,63	+ 0,000035d
TOTAL	0f,44 + 0,000101d	+ 0,000000017d^2.

Cette formule ne doit pas être appliquée à des distances de plus de 4 à 5 kilomètres.

Cette formule doit être majorée de 15 0/0 pour comprendre le bénéfice et les frais généraux de l'entrepreneur.

Dans les prévisions qui précèdent, le débit journalier serait de 1.241m3,0 à 1.000 mètres, 897 mètres cubes à 2.000 mètres, 759 mètres cubes à 3.000 mètres, 631 mètres cubes à 4.000 mètres.

La Compagnie des chemins de fer du Nord se sert des formules suivantes pour le prix du transport à la machine :

Sur rampes inférieures à $0^m,006$. . . . . $0^f,72 + 0,00015\,d$
— supérieures — . . . . . $0^f,72 + 0,00025\,d$.

Pour une rampe de 0,015, la machine de 20 tonnes ne traînant plus que 13 wagons, soit 39 mètres cubes par train, le prix de revient du transport de 1 mètre cube revient alors à :

$$0^f,49 + 0,0001525d + 0,00000003d^2,$$

ce qui donne, pour les transports à 1.000 et 2.000 mètres : 0 fr. 68 et 0 fr. 92.

Comparaison des divers prix des transports. — Les prix de revient, pour le transport de 1 mètre cube de terre à la distance d, sont résumés dans le tableau suivant, d'après A. Debauve, qui indique les distances-limites à partir desquelles il y a avantage à passer d'un engin à un autre plus perfectionné :

MOYEN de TRANSPORT	FORMULE A. DEBAUVE donnant en francs le PRIX DE REVIENT DU TRANSPORT d'un mètre cube de terre à la distance moyenne d	LIMITES D'APPLICATIONS des formules
Brouette	$0,006\,d$	12 mètres (camion) 61 — (tombereau) 40 — (wagonnet)
Camion	$0^f,05 + 0,0017\,d$	417 mètres (tombereau) 135 — (wagonnet)
Tombereau à un cheval	$0^f,30 + 0,0011\,d$	125 mètres (wagons à chevaux)
Wagonnet et voie ferrée portative (traction de chevaux)	$0,225 + 0,000412\,d + 0,0000002\,d^2$ (wagonnet de $0^{mc},50$, voie de 0^m60)	Le wagonnet est toujours supérieur au tombereau pour les distances pratiques 695 mètres (wagon de $1^m,50$)
Wagon et voie ferrée (traction de chevaux)	$0^f,40 + 0,0003\,d$ (wagon de $1^m,50$) $0^f,392 + 0,00021d$ (wagon de 3 mètres)	440 mètres (locomotive)
Wagon et voie ferrée (traction de locomotive), locomotive de 20 tonnes	$0,44 + 0,000101d + 0,000000017\,d^2$ (wagons de 3 mètres)	»

Ces formules supposent que le prix de la journée de manœuvre est de 3 francs et que les voies ferrées sont construites avec rampes ne dépassant pas $0^m,006$ par mètre. Elles supposent que l'amortissement est de 20 0/0 par an; elles doivent être majorées de 15 0/0 pour les frais généraux et le bénéfice de l'entrepreneur.

Ces prix de revient s'appliquent à des terres dont le foisonnement au déblai est insensible et dont la densité est voisine de 1.500 kilogr. au mètre cube.

Elles ne sont pas applicables aux déblais rocheux.

S'il s'agit de transporter des galets ou des cailloux, les formules conviennent encore, pourvu qu'on les applique au mètre cube de ces matériaux cassés, car 1 mètre cube pèse environ 1.500 kilogr.

Toutefois, le chargement étant plus difficile, donne une plus-value de 0 fr. 20 par mètre cube.

Un homme ne charge guère que 4 mètres de roches lourdes en véhicule élevé et 7 mètres en véhicules bas. Pour tenir compte du foisonnement, les ingénieurs allemands admettent que les prix relatifs au transport doivent être majorés, pour les déblais rocheux, de 50 0/0 par mètre cube.

Influence des rampes sur les distances de transport. — Une rampe ascendante du déblai au remblai augmente le travail, puisque, outre le travail dépensé pour le transport horizontal, il faut élever les matériaux. Le travail est le même pour monter une rampe de 20 mètres de base sur $2^m,50$ de hauteur (inclinée au 1/8), que pour parcourir une distance horizontale de 30 mètres.

La pente 1/8 exigeant un travail au-dessus des forces de l'homme, il convient d'adopter une rampe au 1/12, et de considérer comme équivalent de la distance horizontale 30 mètres, une rampe de 20 mètres de base sur seulement $1^m,65$ de hauteur. Considérant que, pour s'élever de la hauteur H, il faut parcourir une rampe de 12H de base, comme 20 mètres de cette rampe équivalent à 30 mètres de transport horizontal, 1 mètre équivaut à $1^m,50$, et les 12H à $12H \times 1,50 = 18H$; ce qui revient à ajouter 6H à l'espace réellement parcouru horizontalement, sans que cet espace horizontal soit jamais inférieur à 12H, mais pouvant être égal ou supérieur à cette limite. Dans le cas où un chemin direct donnerait un espace moindre, on adopterait un chemin composé de deux (ou d'un plus grand nombre) directions se raccordant de manière que l'ouvrier pût facilement passer de l'une sur l'autre avec sa brouette.

Dans le transport à la brouette, l'ouvrier fatigue peut-être un peu moins en descendant; mais, comme il fatigue beaucoup plus en montant à vide, une pente descendante ne peut être très favorable, et l'on règle les relais comme sur un chemin horizontal.

Pour le transport ordinaire en tombereau, il ne convient pas que l'inclinaison des rampes dépasse 1/20.

Montage des terres. — Lorsqu'on a à élever des terres verticalement, on peut placer des ouvriers à des étages différents, espacés de $1^m,65$, et compter que chaque ouvrier, en 10 heures, peut jeter 15 mètres cubes de terre d'un étage à l'étage supérieur. On peut aussi disposer des rampes s'élevant de $1^m,65$ pour 20 mètres de base, ce qui équivaut à un relais horizontal de 30 mètres ; on doit adopter la hauteur verticale, $1^m,65$ pour relais.

Dans un grand nombre de cas, on élève les terres verticalement. On fait usage de treuils mus à bras d'homme, ou de treuils à tambours mus par chevaux ou machines à vapeur.

L'arbre du treuil employé pour le montage des déblais à bras d'homme a de $0^m,16$ à $0^m,20$ de diamètre, et 1 mètre à $1^m,20$ de longueur ; la manivelle a $0^m,40$ de rayon, le diamètre de la corde est de $0^m,03$; et la caisse ou le panier destiné à recevoir les terres à élever, et que l'on nomme *bourriquet*, a $0^{mc},033$ de capacité.

Le panier mettant 20 secondes ou $0^h,00556$ pour s'élever de 5 mètres, pour s'élever à la hauteur d'une banquette de 2 mètres, il mettra $\frac{0^h,0056 \times 2}{5} = 0^h,00222$; comme il descend de 5 mètres en 15 secondes ou $0^h,00417$, la descente d'une hauteur de banquette durera $\frac{0^h,00417 \times 2}{5} = 0^h,00167$. De ces nombres, comme de plus il faut $20'' = 0^h,00556$ pour décrocher un panier plein et en accrocher un vide, et $25'' = 0^h,00695$ pour vider le panier, il résulte que, pour élever le contenu $0^{mc},033$ du panier à une hauteur de B banquettes, il faudra un temps représenté par :

$$t = B(0^h,00222 + 0^h,00167) + 0^h,00556 + 0^h,00695.$$

Si l'on a $B = 3$, par exemple, on conclut :

$$t = 0^h,02418.$$

Le temps nécessaire pour élever 1 mètre cube est :

$$T = \frac{t \times 1}{0,033}.$$

et quand $B = 3$, on a :

$$T = \frac{0,02418 \times 1}{0,033} = 0^h,732.$$

Pour manœuvrer une telle machine, il faut 3 hommes : un pour remplir le panier, et les deux autres pour tourner la manivelle, décrocher le panier et le vider. La journée de chaque ouvrier étant payée 3 francs, par exemple, on a pour une heure des trois ouvriers 0 fr. 90 ; chaque mètre cube de déblai, élevé à la hauteur

de trois banquettes ou de 6 mètres, coûte alors :

$$0 \text{ fr. } 90 \times 0{,}732 = 0 \text{ fr. } 659.$$

Admettons qu'un ouvrier jette à la pelle, dans une journée, 15 mètres cubes de terre d'une banquette sur l'autre ; on déterminera l'avantage d'un procédé sur l'autre pour une hauteur d'élévation déterminée.

A la percée du tunnel de Saint-Cloud (chemin de fer de Paris à Versailles), pour des profondeurs moyennes de puits de $24^m,50$, on a obtenu au treuil le mètre cube de déblai compact et le mètre de hauteur pour 0 fr. 049.

Pour élever les terres par des puits, pour le percement de tunnels, on fait usage de treuils dont l'arbre a $0^m,30$ de diamètre et environ $2^m,70$ de longueur, qui sont mus à l'aide d'une roue à chevilles de $4^m,40$ de diamètre, et armés d'un frein puissant dont la poulie doit avoir $0^m,80$ environ, afin que l'ouvrier le manœuvre facilement d'une seule main. A chaque extrémité de la corde est suspendue une *benne* ou *bourriquet* cubant $0^{mc},25$. Pour monter les terres et descendre le mortier, le bourriquet est une caisse carrée, en bois, dont une paroi latérale s'ouvre comme une porte à loquet ; ce qui permet de vider la caisse sans la renverser. Pour la descente des moellons, le bourriquet est simplement une caisse en bois dont les parois sont à claire-voie ; elle cube encore $0^{mc},25$.

On obtient des résultats avantageux en faisant usage de la hotte pour élever les terres. Par ce moyen, un manœuvre peut effectuer en une heure, soit par une échelle, soit par un escalier, à une hauteur de 3 mètres, 27 voyages, la hotte cubant $0^{mc},03$. Il en résulte que le volume élevé en 10 heures est environ de $0{,}03 \times 27 \times 10 = 8^{mc},10$.

Le prix de la journée de manœuvre étant de 3 francs, par exemple, chaque mètre cube élevé à la hauteur de 1 mètre revient à 0 fr. 124.

Remblais : foisonnement et compression. — Avant d'exécuter les remblais, on égalise bien le terrain que l'on veut surélever. Pour cela, on retire la bonne terre que l'on met de côté ; on donne une couche de labour, afin de faciliter la liaison des terres ; puis on opère le remblai par couche de $0^m,20$, en ayant soin de bien battre la terre avec un pilon en bois, ou de la tasser avec un rouleau compresseur.

Si les remblais sont faits avec des terres sablonneuses ou graveleuses, on se contente d'arroser les diverses couches.

Dans les terrains assez résistants, on donne aux talus une inclinaison de 45° ; pour les terrains peu solides, cette pente devra être moitié moins forte.

Quand les remblais et talus sont terminés et nivelés, on y jette dessus la bonne terre qu'on avait mise en réserve, et l'on dresse

le tout en battant avec une lame plate ou à manche incliné.

Pour des remblais considérables, on fait rouler les brouettes, camions ou tombereaux qui amènent de la nouvelle terre sur celle qui est déjà en place. On *régale* les remblais au fur et à mesure qu'ils arrivent, de manière à en dresser la surface; ce que l'on fait en les poussant simplement à la pelle sur le devant de la masse, où ils prennent leur talus naturel.

Quand les remblais sont faits derrière des maçonneries ou pour remplir une tranchée, il faut les régaler et les pilonner par couches successives de $0^m,20$ à $0^m,25$ d'épaisseur. S'il y a possibilité de faire arriver de l'eau sur les terres rapportées, c'est le moyen le plus sûr et le plus expéditif pour en obtenir immédiatement le tassement complet; les terres végétales ou rapportées qui proviennent des tranchées faites dans les rues de Paris, pour la pose des tuyaux de conduites d'eau ou de gaz, sont remblayées en employant ce moyen de compression, et, malgré le volume occupé dans la tranchée par les tuyaux, il arrive, quand le diamètre des tuyaux n'excède pas $0^m,20$, que les terres provenant de la fouille peuvent y entrer comme remblais, sans qu'on soit obligé d'en conduire aux décharges.

Pour les tranchées de tuyaux, on se contente souvent de bomber le remblai de $0^m,10$ à $0^m,15$ au-dessus de la tranchée ; au bout de quelques jours, la compression est complète.

Un mètre cube d'excavation donne les volumes de déblais suivants :

NATURE DES TERRES	CUBE DU DÉBLAI	
	SANS COMPRESSION et mesuré cinq jours après la fouille	COMPRIMÉ au maximum avec le pilon ou avec de l'eau
	mètre cube	mètre cube
Terre végétale de diverses espèces (alluvions, sables)	1,10	1,05
Terre franche très grasse	1,20	1,07
Terre marneuse et argileuse moyennement compacte	1,50	1,30
Terre marneuse et argileuse très compacte et très dure	1,70	1,40
Terre crayeuse	1,20	1,10
Tuf dur ou moyennement dur	1,55	1,30
Roc à la mine réduit en moellons	1,65	1,40

Le foisonnement peut varier de $0^{mc},05$ à $0^{mc},75$ pour 1 mètre cube de fouille, selon que la terre est maigre et légère, ou qu'elle est argileuse, dure et compacte ou d'une nature susceptible de se tenir en grosses mottes ou en moellons. Avec une argile plastique

ferme, le volume des déblais, après 5 jours d'exposition à l'air, était de $1^{mc},50$ par mètre cube d'excavation ; dans une marne compacte, $1^{mc},74$; dans un calcaire grossier, de $1^{mc},65$; enfin, dans une roche schisteuse, les déblais se sont élevés à $1^{mc},76$ par mètre cube de fouille.

Fouilles souterraines. — Lorsque les tranchées atteignent une profondeur telle que la surface du sol est de 7 à 8 mètres au-dessus de l'extrados de la voûte du passage à établir, la fouille des déblais, et sa mise en cavalier, ou son transport à grande distance, entraînent à des frais considérables. Au lieu d'opérer à ciel ouvert, il peut y avoir économie à opérer souterrainement.

Lorsqu'une tranchée doit avoir 8 à 10 mètres de largeur au fond, que les berges peuvent être inclinées suivant le talus naturel des terres, et que la profondeur dépasse 16 mètres, il y a avantage à établir un tunnel.

Pour des tranchées étroites dont les berges coupées à pic doivent être maintenues au moyen d'étayements, afin de pouvoir effectuer la construction des galeries, on substitue le percement souterrain à la tranchée à ciel ouvert dès que la profondeur atteint 10 à 12 mètres.

On fait précéder les fouilles souterraines de l'étayement, du blindage et du muraillement des galeries.

Les fouilles de souterrains s'attaquent à la fois par les deux extrémités et par des puits pratiqués de distance en distance sur toute l'étendue de la percée, et, autant que possible, sur l'un des côtés de la galerie. Les déblais des extrémités s'enlèvent à la brouette, au tombereau ou au wagon. Pour racheter la différence de niveau du sol naturel et du fond du souterrain, on établit des plans automoteurs sur lesquels, à l'aide de corde passant sur des poulies, les wagons pleins descendant remontent les wagons vides. Le montage des déblais enlevés par les puits s'effectue au moyen de treuils.

Excavation souterraine dans un terrain de rocher. — Lorsque le terrain est assez dur pour ne pas nécessiter de revêtement en maçonnerie, on commence le travail en entrant en petites galeries par les extrémités, et en prenant les puits sur l'axe ou mieux sur l'un des côtés du souterrain. Avec les premiers déblais, on élève de $1^{m},50$ à $1^{m},75$ les bords des puits, afin d'éloigner les eaux pluviales et de faciliter le déchargement des bennes et le chargement des déblais en tombereau ou en wagon. Lorsque les puits sont arrivés à la profondeur voulue, on perce en avant et en arrière, dans l'axe du souterrain, une *petite galerie d'axe* (*trou de rat*) de $1^{m},50$ à $1^{m},80$ de haut, sur 1 mètre à $1^{m},50$ de large. Parfois on attaque en entier le demi-cercle supérieur de la galerie, en agissant sur une section suffisante pour permettre le roulage de petits wagons de terrassement sur chemin de fer. Cette

partie supérieure (*couronne d'avancement*) se perce entièrement d'un puits à l'autre avant d'attaquer la partie inférieure. Si on rencontre l'eau, on descend les puits à $1^m,50$ ou 2 mètres en contre-bas du sol de la petite galerie, et à la hauteur de ce sol on les recouvre d'un fort plancher, percé seulement de trous pour le passage des tuyaux des pompes d'épuisement, lesquelles sont mues par des hommes, des chevaux ou des machines à vapeur, selon le volume d'eau à épuiser.

Les eaux sont amenées dans chaque puits par une petite rigole de $0^m,50$ de largeur environ, qui est creusée assez profondément dans le sol de la galerie pour que les eaux s'y écoulent facilement. Cette rigole se recouvre au moyen de planches, ou mieux de pierres plates quand les déblais en fournissent.

Si l'on a commencé par une petite galerie d'axe, après l'avoir percée dans toute l'étendue du tunnel, afin qu'elle permette de fixer la direction de celui-ci et de donner écoulement à l'eau de l'amont vers l'aval, on procède au déblaiement de la couronne d'avancement. Ce travail terminé, on procède à la fouille du *revanché*, c'est-à-dire de la partie inférieure comprise entre les pieds-droits du tunnel, en se débarrassant des eaux par les mêmes moyens, et en prenant les dispositions d'étayement et de blindage nécessaires, ainsi que les précautions indiquées pour l'extraction de la pierre à plâtre, ou (p. 385) pour l'extraction de la roche au moyen de la poudre.

Excavation souterraine dans un terrain ordinaire, sable, tuf, marne, etc. — Dans un terrain qui n'est pas susceptible de se soutenir sans revêtement en maçonnerie, on commence par creuser les puits jusqu'à 2 mètres en contre-bas du sol de la petite galerie, pour faciliter l'asséchement du terrain à fouiller. Au fur et à mesure de la descente des puits, on les blinde à l'aide d'un cuvelage en planches ou en madriers, retenus par des cercles en fer ou en bois. On divise ces puits en compartiments verticaux à l'aide de cloisons en planches ; dans l'un on dispose les échelles destinées à la descente et à la montée des ouvriers ; un second est spécial au service des treuils, un troisième pour les pompes. Quand les puits sont creusés, on les recouvre, à la hauteur de la galerie d'axe dite trou de rat, d'un fort plancher à travers lequel passent les tuyaux de la pompe d'épuisement. On perce alors la galerie d'axe, à laquelle on donne $1^m,80$ de haut sur 1 mètre à $1^m,50$ de large, et que l'on blinde et soutient à mesure qu'elle avance, si le terrain n'a pas assez de consistance pour se soutenir de lui-même. Le ciel ou plafond de cette petite galerie d'axe doit se trouver, à la hauteur définitive de l'extrados de la voûte du souterrain.

Le blindage en charpente est posé par les ouvriers mineurs et se compose (*fig.* 147) de cadres formés de deux traverses horizon-

tales T, de 0m,20 sur 0m,20 d'équarrissage, et de deux poteaux légèrement inclinés P, d'une section de 0m,15 sur 0m,15; sur les traverses supérieures, et au besoin contre les poteaux P, on pose des madriers ou des planches. Dans le cas de sable fin ou de terre humide et coulante, ces madriers doivent être jointifs et d'une épaisseur suffisante pour résister à la pression de la terre, qui peut être assez grande. Si le sol a une certaine consistance, on étaye le ciel de la galerie au moyen de quelques madriers reposant sur les traverses supérieures.

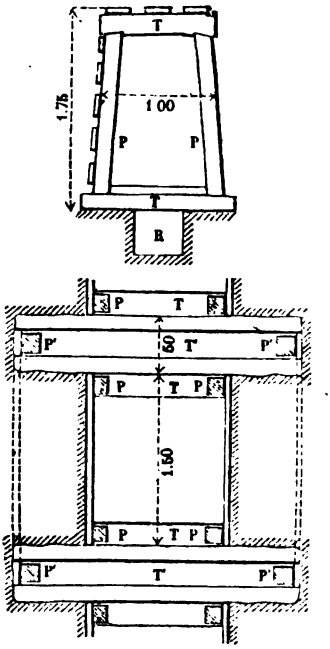


Fig. 147.

L'espacement des cadres ne doit pas excéder 1m,50 d'axe en axe, si le terrain a nécessité la pose de planches ou de madriers contre les poteaux montants. On fait le blindage au moyen de madriers ayant au plus 1m,50 de long, qui doit être l'écartement hors œuvre des cadres. D'un ensemble de deux cadres à l'ensemble suivant, on laisse libre un intervalle de 0m,40 à 0m,50, que l'on creuse latéralement pour la pose des cadres de la *moyenne tranchée*. Dans le cas d'un terrain de sable mouvant ou de toute autre nature susceptible de s'ébouler, cet intervalle de 0m,40 à 0m,50 doit être blindé au moyen de petites voliges jointives reposant sur les cadres voisins.

Dans les terrains de sable mouvant ou de terre jouissant d'une certaine fluidité, on doit interposer une couche de paille de 0m,02 à 0m,03 d'épaisseur entre les planches du blindage et le terrain.

Avant de poser les traverses inférieures T, qui sont renforcées à la partie supérieure par une fourrure qui maintient l'écartement des poteaux P, on creuse dans le fond de la galerie une rigole R, de 0m,40 environ de largeur et de profondeur, pour donner écoulement à l'eau vers le puits. Des planches posées sur les traverses inférieures T couvrent cette rigole et facilitent le roulage des brouettes. Dans un terrain sablonneux la rigole se fait en planches ou en madriers jointifs maintenus au moyen de petits

étais ; sans cette précaution, elle se comblerait presque immédiatement.

La galerie d'axe étant creusée d'une des extrémités du souterrain à un puits, ou d'un puits à un autre, on arrête le parfait alignement du souterrain ; puis on procède à la fouille de la *moyenne galerie*, à laquelle on donne en largeur 1/3 de la largeur de voûte du souterrain, mesurée à l'intrados, et en hauteur celle comprise entre le sommet de l'extrados de la voûte et une ligne passant à $0^m,50$ environ en contre-bas des naissances de cette voûte.

Pour établir la moyenne galerie (*fig.* 147 et 148), dont l'échelle de la première est double de celle de la seconde, on creuse latéralement les intervalles de $0^m,40$ à $0^m,50$ laissés entre les ensembles consécutifs de deux cadres du blindage de la petite galerie, et dans ces intervalles on établit des cadres formés, à peu près comme ceux de la petite galerie, de deux traverses horizontales T' et de deux poteaux montants P'. Au fur et à mesure qu'on a posé les *chevalements* ou cadres de la seconde galerie, on enlève ceux de la petite galerie d'axe et l'on fouille entre les deux nouveaux cadres, de manière à pouvoir placer sur les traverses supérieures T', qui sont plus élevées que celles T, les madriers qui doivent soutenir parfaitement le ciel ; puis, si cela est nécessaire, les madriers s'appliquant contre les poteaux P'.

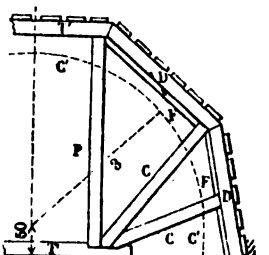


Fig. 148.

Lorsque cette seconde galerie est terminée, on creuse derrière les poteaux P' des tranchées de $0^m,50$ de largeur environ, pour mettre en place les contre-fiches C et les pièces D qui doivent compléter les fermes d'étayement de la couronne d'avancement ; des petites fourrures F, placées en dernier lieu, contre-butent les extrémités des contre-fiches. On fait alors le *battage en grand*, c'est-à-dire qu'on exécute la fouille de manière à pouvoir placer sur les pièces D les madriers allant d'un cadre à l'autre.

Les cadres de la couronne d'avancement sont posés par les ouvriers mineurs, qui les espacent de $1^m,50$ à 2 mètres d'axe en axe.

Les charpentiers posent le cintre C' de la voûte, en plaçant les fermes dans les intervalles des cadres d'étayement ; les mineurs étayent les madriers du blindage à l'aide de petits potelets reposant sur les fermes du cintre ; ils retirent, au fur et à mesure que la voûte avance, les diverses pièces des cadres d'étaye-

ment, et l'on peut considérer le travail de terrasse de cette partie supérieure comme achevé. Les maçons construisent alors la voûte, en avançant par anneaux ; les charpentiers leur placent les couchis au fur et à mesure de la pose des assises, et les mineurs retirent, si cela est possible, les madriers de blindage, afin de ne pas les laisser derrière les maçonneries.

La partie supérieure du tunnel étant achevée, on procède à l'exécution de la partie inférieure, en fouillant d'abord une tranchée d'axe, dans le fond de laquelle on creuse une rigole d'écoulement pour les eaux ; cette tranchée, à laquelle on donne de $1^{m},75$ à 2 mètres de large descend jusqu'au fond du souterrain, et on l'étaye. On procède ensuite au déblaiement en opérant par longueurs alternatives de 3 à 4 mètres au plus, séparées par une longueur égale; on exécute les pieds-droits en sous-œuvre sur deux longueurs successives déblayées, et ce n'est qu'alors qu'on enlève les déblais de la partie intermédiaire aux portions maçonnées ; puis l'on construit les pieds-droits dans cette partie, et l'on continue ainsi.

Dans les terrains assez consistants pour rester un certain temps sans étais, on place les cadres d'étayement et on soutient le ciel; à part le rocher, il serait imprudent d'agir autrement.

L'étayement ordinaire devient parfois insuffisant dans les terrains mous et très humides, que l'on peut rencontrer dans le percement d'un tunnel passant sous un canal ou une rivière.

Dispositions des déblais souterrains. — Les fouilles souterraines s'exécutent à la pioche, au pic, à la pince ou à la poudre. Quant au transport des déblais, il se fait au moyen de bennes qu'on charge sur des brouettes pour les amener au puits, de camions ou de wagons qui roulent sur chemin de fer et qui sont susceptibles d'être montés par les puits. Quand les puits ne sont espacés que de 100 mètres, le transport en bennes sur brouettes fournit des résultats aussi avantageux que celui en wagons sur railway.

Les déblais provenant de la fouille des puits s'élèvent avec des baquets au moyen d'un treuil à bras; mais, pour le montage des déblais de la galerie, il y a avantage à employer le manège du maraîcher mû par un ou deux chevaux, si la fouille marche assez vite pour l'entretenir ; on peut remplacer les chevaux par une machine à vapeur. Au grand égout collecteur de Paris on a fait usage aussi d'une chaîne sans fin passant sur un système de poulies, à laquelle on accroche successivement les bennes ou baquets ; la machine motrice sur chaque puits est une locomobile.

On se sert encore d'un monte-charge à treuil horizontal, qu'une locomobile fait mouvoir en même temps qu'une pompe d'épuisement placée à chaque puits.

Lorsque le percement d'un puits se fait à la poudre, le mineur doit se faire remonter hors du puits, ou au moins à une hauteur de 20 mètres, aussitôt qu'il a mis le feu à la mèche.

Ventilation. — Avant que la communication des puits entre eux soit établie, il arrive que l'air ne se renouvelle pas suffisamment dans la galerie ; alors on établit une ventilation au moyen de ventilateurs spéciaux, ou à l'aide d'un soufflet de forge foulant l'air dans des tuyaux en cuir ou en toile qui le portent au fond de la galerie. Un petit poêle métallique, tenu allumé à la partie inférieure de chaque puits, jusqu'au sommet duquel monte son tuyau, peut, en appelant l'air de la galerie, produire une ventilation.

Il n'est pas possible de fixer à quelle profondeur de galerie la ventilation artificielle est nécessaire. Dans des terrains à peu près semblables, et pour des puits de même profondeur, à 30 mètres en galerie, les ouvriers ont quelquefois beaucoup de peine à respirer, tandis que, dans d'autres cas, à 75 et même 100 mètres, la respiration n'est nullement gênée.

Éclairage sous galerie. — La quantité de chandelle brûlée par ouvrier varie beaucoup sur un point où il n'existe pas de courant d'air; en 10 heures, un ouvrier brûle 3 chandelles de 16 au kilogr., ce qui fait $0^{kg},1875$; sur les points où l'air est en mouvement, il en brûle le double. En moyenne, un ouvrier occupé en galerie brûle 4 chandelles de 16 au kilogr., ou $0^{kg},25$ par 10 heures. L'emploi de la lampe des mineurs présente une économie d'environ 1/4 sur celui de la chandelle ; en outre, elle est plus maniable. L'éclairage électrique est encore plus pratique quand on peut l'établir.

Prix des déblais souterrains. — Ces prix sont variables en raison de la nature du sol et de la section de la galerie. Non compris le montage proprement dit, en tenant compte de la fouille, de la charge et du transport en brouette ou en camion à une distance de 50 mètres sous galerie, le prix des excavations en tranchées à ciel ouvert est à celui des excavations souterraines, pour des sections égales de tranchées et de galeries, dans le rapport moyen de 1 à 4 pour les terres, sables, marnes et tufs piochables à la tournée, de 1 à 3 pour les marnes et tufs fouillables au pic, sans emploi de la poudre, et de 1 à 2,5 pour les roches très dures exigeant l'usage de la mine.

En outre de la dépense de main-d'œuvre proprement dite de percement, la construction des souterrains en exige d'autres qui sont proportionnelles aux nombres suivants, la dépense totale étant représentée par 1,00.

1° *Pour les souterrains excavés dans les terrains pour lesquels le blindage et les revêtements sont nécessaires*, comme au souterrain de Saint-Cloud :

Terrassement proprement dit (le prix de la journée du terrassier étant de 3 fr.)	0,215
Charpente (blindage et cintres)	0,325
Maçonnerie	0,360
Épuisements et travaux pour l'écoulement des eaux.	0,036
Frais généraux	0,064
	1,000

2° *Pour les souterrains excavés dans le rocher, n'exigeant ni blindage, ni revêtements accidentels*, tels que le souterrain de Revin :

Main-d'œuvre d'excavation (prix moyen de la journée, 2 fr. 30)	0,666
Fourniture de poudre	0,095
Acquisition et réparation d'outils	0,155
Matériel de roulage (planches, brouettes, etc.)	0,031
Charpente pour blindage et étayement, rigoles d'écoulement des eaux et dépenses diverses	0,053
	1,000

Asséchement des terrains mouillés ou traversés par les eaux. — A Paris, pour plusieurs galeries d'égouts collecteurs dans la hauteur de la nappe d'eau des puits, Laroque, en suivant les dispositions de Garnuchot, a asséché et a rendu ferme le terrain de sable fin, qui est excessivement mobile tant qu'il est mouillé par l'eau de cette nappe, en faisant baisser cette eau au-dessous du niveau du radier de la galerie à construire, au moyen d'épuisements énergiques précédés d'un creusement de puisards et de galeries d'asséchement.

Creusement des puisards d'asséchement. — Les tranchées ont été fouillées jusqu'à la rencontre du terrain mouillé. A cette profondeur, on a creusé, dans l'axe des tranchées et à des intervalles de 60 à 80 mètres, des puisards carrés de $1^m,50$ de côté ; opération qu'on effectuait en draguant le sable fluide à la pelle ou à la petite drague à main, et en enfonçant sur les côtés de chaque puisard des palplanches jointives qu'on soutenait à l'intérieur au moyen d'un cadre en charpente. Dès que la profondeur le permettait, on disposait au milieu du puisard la crépine d'une pompe Letestu de $0^m,25$ à $0^m,40$ de diamètre, mise en mouvement par une locomobile de 3 à 4 chevaux. En faisant descendre la crépine au fur et à mesure du creusement, on parvenait à tenir le puisard débarrassé d'eau.

On descendait les puisards jusqu'à la profondeur voulue; mais, si cette profondeur devait dépasser $1^m,50$, au-dessous de cette limite on continuait le creusage en remplaçant le blindage en palplanches par une cuve en tôle de 2 millimètres d'épaisseur, renforcée à son intérieur par deux cercles en fer carré de $0^m,02$ de côté. Cette cuve avait 1 mètre de diamètre et $1^m,10$ de hau-

teur ; elle était percée de trous pour faciliter l'arrivée de l'eau à son intérieur. On la plaçait sur le milieu du fond du puisard carré, et on l'enfonçait en frappant sur ses bords avec une masse ou en agissant par pression à l'aide d'un cric, au fur et à mesure qu'on draguait le sable de son intérieur. On faisait ainsi descendre cette cuve jusqu'à ce que son bord supérieur fût à $0^m,10$ environ en contre-bas du dessous du radier de la galerie à construire. Si cette première cuve était insuffisante, on la surmontait d'une seconde ou d'une troisième.

En laissant fonctionner les pompes pendant 10 à 15 jours, on parvient à assécher le terrain sur une surface circulaire dont le puisard est le centre.

Pour ne pas assécher en pure perte la partie de surface circulaire excédant la largeur de la tranchée, après avoir creusé des puisards espacés de 60 à 80 mètres, on creusait, dans l'axe du fond de la tranchée, une rigole dans laquelle les eaux du terrain s'égouttaient pour venir aboutir aux puisards.

Creusement des rigoles d'asséchement. — Aussitôt que les puisards étaient achevés, on ouvrait dans l'axe du fond de la galerie une rigole de $0^m,80$ de large, à laquelle on donnait une légère pente vers les puisards pour l'écoulement de l'eau. Pour ouvrir cette rigole dans un terrain de sable fin et fluide, en partant des puisards, on commençait par la creuser sur une profondeur de $0^m,22$, et l'on plaçait des madriers de $0^m,22$ de largeur, pour faire le coffrage sur cette profondeur. On continuait le creusage sur une nouvelle profondeur de $0^m,22$, en enfonçant le premier rang de plats-bords, dont le côté inférieur avait été biseauté et ferré. On maintenait les deux parois de ce coffrage au moyen de couches verticales et de petits étais placés tous les 2 mètres. Quand le deuxième rang de plats-bords était posé, on recommençait à creuser pour en placer un nouveau rang sur les deux premiers, ce qui se faisait en draguant à la pelle le sable fluide, puis en enfonçant les trois plats-bords de chaque côté de la rigole. On continuait, en plaçant les plats-bords du boisage l'un sur l'autre, jusqu'à ce que le fond de la rigole fût arrivé à $0^m,10$ au-dessous du radier.

Quand, en partant du puisard, on avait creusé la rigole jusqu'à 40 mètres sur une nouvelle profondeur de $0^m,22$, et posé les plats-bords au point de départ, le sol se trouvait asséché sur la hauteur des plats-bords posés.

On est parvenu à traverser plusieurs mètres de hauteur d'un terrain de sable très fin, d'une fluidité telle, qu'on ne pouvait parvenir à le fouiller sur $0^m,10$ sans qu'il tende à remonter et à se niveler. Lorsque l'asséchement était parfait, ce sable prenait une fermeté telle qu'on pouvait le fouiller sur une profondeur de plusieurs mètres, en le blindant.

Nivellement. — Sur les ateliers de travaux publics, presque

toutes les hauteurs cotées sur les plans d'exécution sont indiquées par leur distance en contre-bas d'un *plan horizontal de comparaison* fictif qu'on prend à une hauteur quelconque, 100 mètres par exemple, au-dessus des points à niveler les plus élevés; le nivellement de Paris est rattaché à un plan horizontal de comparaison situé à 50 mètres au-dessus du niveau légal de l'eau dans le bassin de la Villette.

Supposons qu'on veuille déterminer la hauteur des terrains aux différents points par lesquels on a l'intention de faire passer l'axe d'une route projetée.

On place des piquets de distance en distance sur la ligne à relever, et de manière qu'entre deux piquets consécutifs il y ait un point duquel on puisse voir ces deux piquets. Pour éviter la confusion, à mesure qu'on opère sur le terrain, on inscrit les résultats obtenus sur un tableau analogue au suivant, qu'on trace à l'avance.

NUMÉROS des PIQUETS	DISTANCES des PIQUETS	COUPS		COTES	OBSERVATIONS
		ARRIÈRE	AVANT		
	mètre	mètre	mètre	mètre	
1*	.....	.....	.....	100,00	* Indiquer la nature du terrain, les difficultés d'exécution, les noms des propriétaires, etc.
»	38,00	1,20	1,80	»	
2	.....	.....	.....	110,60	
»	31,45	1,78	2,40	»	
3	.....	.....	.....	101,22	
»	25,00	0,85	2,22	»	
4	.....	.....	.....	102,59	
»	29,30	1,80	0,50	»	
5	.....	.....	.....	101,29	

Dans la première colonne, on place les numéros des piquets dans l'ordre où on les rencontre, en suivant l'axe de la route, et dans la seconde, en regard, les distances des piquets successifs.

Pour obtenir les nombres des deux colonnes suivantes, on se place avec un niveau d'eau, ou mieux à bulle d'air, à peu près au milieu de l'intervalle de deux piquets successifs, et toujours en un point duquel on puisse voir les deux piquets; on appelle *coup arrière*, le nombre accusé par la personne qui tient la mire lorsqu'on regarde du côté du point de départ, et *coup avant*, le nombre indiqué par cette personne lorsqu'on regarde en avant. Ainsi, dans les exemples du tableau précédent, le niveau étant placé entre les piquets 1 et 2, les coups arrière et avant sont respectivement $1^m,20$ et $1^m,80$; entre les piquets 2 et 3, ces coups sont $1^m,78$ et $2^m,40$, etc.

Pour avoir les nombres de la cinquième colonne, qui expriment les distances des différents points du sol où se trouvent les

piquets, au-dessous du plan horizontal de comparaison, pour le piquet n° 1, on prend la cote de 100 mètres, ou tout autre nombre tel que l'horizontale menée à la hauteur qu'il exprime passe au-dessus de tous les points de la surface du terrain qu'on veut niveler. Pour avoir la cote du piquet n° 1, on ajoute le coup avant $1^m,80$, de la somme on retranche le coup arrière $1^m,20$, et la différence $100^m,60$ est la cote cherchée que l'on écrit en face du nombre 2 indiquant le numéro d'ordre du piquet. On opère de la même manière pour avoir la cote d'un piquet quelconque, c'est-à-dire qu'à la cote du piquet précédent on ajoute le coup avant, et de la somme on retranche le coup arrière.

Dans le cas où l'on donne plusieurs coups avant sans changer le niveau de place, ce qu'on fait lorsqu'on veut déterminer les cotes des différents points d'un terrain accidenté sur lequel on doit bâtir, pour avoir les cotes des piquets sur lesquels on donne ces coups de niveau, il suffit d'ajouter chaque coup avant à la dernière cote obtenue ou supposée, et de retrancher de chacune des sommes que l'on vient d'obtenir le coup arrière donné sur cette dernière cote.

CHAPITRE VI

MAÇONNERIES

Maçonnerie de béton

Maçonnerie de béton. — Cette maçonnerie, faite avec du mortier de chaux hydraulique, ayant la propriété de durcir promptement sous l'eau, est d'un fréquent usage dans les travaux hydrauliques. Les proportions de cailloux, de graviers, de pierres ou de meulière cassée de 3 à 6 centimètres de côté, et de mortier, qui entrent dans la composition du béton, dépendent des vides entre les pierres, ainsi que de l'énergie de la prise et du degré de dureté dont on a besoin. Le béton est dit *gras* ou *maigre*, selon que le mortier entre en grande ou en petite quantité dans sa composition, ou selon que le mortier remplit complètement ou seulement en partie les vides.

Le volume des vides se détermine, comme pour le sable, en remplissant de ces pierres ou cailloux un vase de capacité connue, et en versant dessus assez d'eau pour qu'elle effleure leur surface. Le volume d'eau versé est égal à très peu près à celui des vides, si, par leur nature, les pierres ou cailloux ne sont pas spongieux, ou si, dans le cas contraire, on les pénètre, avant

l'opération, de la quantité d'eau qu'ils sont susceptibles d'absorber.

Dans un mètre cube apparent de cailloux mêlés, de diverses grosseurs, mais ne dépassant pas $0^{m},05$, le vide est de $0^{mc},38$, et pour les pierres cassées et les cailloux de grosseur ne dépassant pas $0^{mc},05$, il est de $0^{mc},46$.

Pour obtenir un béton dont les vides des cailloux soient bien remplis, le volume du mortier doit être au moins égal à celui des vides. Le mortier peut ne pas se répartir de manière à remplir tous les vides, et les particules de sable peuvent s'interposer entre les surfaces de contact des cailloux, de manière à augmenter le volume des vides. Pour obtenir un béton bien plein, le volume du mortier doit être au moins de 1/4 plus grand ; ainsi, selon que le volume des vides sera de $0^{mc},38$ ou $0^{mc},46$, celui du mortier employé devra être de $0^{mc},48$ ou de $0^{mc},58$ pour obtenir un béton plein propre à la construction des massifs de fondations qui doivent résister à la pression de l'eau.

Lorsque le béton n'est pas destiné à résister à la pression de l'eau, quand il est employé à la construction de fondations qui se trouvent au-dessus de la nappe d'eau, il n'y a pas nécessité qu'il soit imperméable, il suffit qu'il soit incompressible et qu'il résiste à la rupture; alors le volume du mortier peut être égal et même quelquefois inférieur à celui des vides des cailloux ou des pierres cassées.

Proportions de mortier et de cailloux mêlés, de diverses grosseurs, mais inférieurs à $0^{m},05$, par mètre cube de béton

NUMÉROS	DÉSIGNATION	MORTIER	CAILLOUX	OBSERVATIONS
		m. c.	m. c.	
1	Béton gras	0,55	0,77	Pour radiers, réservoirs, etc., soumis à une pression d'eau considérable.
2	— ordinaire ...	0,52	0,78	Pour les ouvrages de maçonnerie des eaux et égouts de Paris.
3	— ordinaire ...	0,48	0,84	Pour les travaux de navigation, fondations de piles de ponts, de murs de quais, etc.
4	— un peu maigre	0,45	0,90	Pour fondations d'édifices sur terrains humides et mouvants.
5	— maigre	0,38	1,00	Massifs, fondations, etc., sur terrains secs et mouvants.
6	— très maigre .	0,20	1,00	
7	— ordinaire ...	0,50	1,00	Pour blocs artificiels faits avec mortier de chaux du Theil; ports.
8	— moyen gras.	0,56	0,90	Jeté dans des enceintes asséchées.
9	— très gras ...	0,57	0,85	Immergés frais à la mer.

Pour obtenir un mètre cube de béton n° 2 avec des matériaux de *grosseur uniforme*, le vide du mètre cube de pierre étant $0^{mc},46$

ou $0^{mc},38$, selon que la grosseur est uniforme ou non, ce qui donne une différence de vide de $0^{mc},08$, on devra employer $0^{mc},78$ de pierre, et $0^{m},52 + 0,08 \times 0,78 = 0^{mc},583$ de mortier.

Quand on a des cailloux de petites dimensions, on y ajoute simplement de la chaux éteinte ; ce mélange fournit un excellent béton.

Plusieurs murs des bassins du canal Saint-Martin ont été fondés à 3 ou 4 mètres au-dessous du fond du canal. A cette profondeur, on a établi un massif de fondation incompressible, avec un béton maigre formé de gravier de la Seine, mêlé avec 1/7 de son volume de chaux hydraulique éteinte. On a obtenu un tuf artificiel qui, soumis à la pression de l'eau, est resté étanche sous une charge de $0^{m},40$.

On active la prise des bétons en mélangeant aux mortiers de la pouzzolane ou du ciment romain.

Les bétons sont plus économiques que les maçonneries ordinaires jointoyées en mortier.

Un mélange de 1 de chaux en poudre pour 5 de sable donne un mortier très maigre, mais économique et utilisable pour fondations sur sol douteux.

Dans le béton, au mortier et aux cailloux on substitue souvent des débris de carrières, des recoupes de pierres, des briques concassées, etc. On y introduit même de la pouzzolane, naturelle ou artificielle, des mâchefers, du strass, de l'argile ou du schiste calciné.

Le *béton de coaltar* s'obtient en agglutinant à chaud des pierrailles et du sable au moyen des résidus du goudron de houille.

Le *béton d'asphalte* est un mélange de 5 0/0 de bitume, fondu avec 95 0/0 de mastic asphaltique concassé.

On exécute des *pierres* artificielles en béton pour obtenir de forts blocs dont on fait usage à sec pour fondations de jetées, digues, môles, etc.

Le béton peut, sous une épaisseur de $0^{m},11$, supporter un poids de 380 kilogr. sans se rompre. Une masse de béton de $0^{m},55$ à 1 mètre d'épaisseur étendue sur le plus mauvais sol (en donnant à cette masse une largeur en rapport avec la compressibilité du sol) est absolument homogène et il est impossible de la séparer.

Le béton doit être employé aussitôt sa fabrication.

Fabrication du béton. — Le *dosage des matières* se fait au moyen de brouettes de mesure fermées, de $0^{mc},050$ à $0^{mc},080$. Les brouettes servant à mesurer les cailloux ont le fond percé de trous ou formé de tringles en fer espacées, afin de faciliter le passage de l'eau qu'on jette sur les cailloux pour les nettoyer.

Le *mélange des matières* se fait à bras, à l'aide de griffes en fer à trois dents (*fig.* 149) ou au moyen de machines.

Pour opérer le mélange avec la griffe, on établit, comme pour

fabriquer le mortier avec le rabot, une plate-forme en planches; puis, en supposant qu'on veuille faire, par exemple, du béton n° 2 (tableau p. 418), on commence par remplir 5 brouettes de même capacité, 3 de cailloux et 2 de mortier fabriqué à part. On amène alors une première brouettée de cailloux, que l'on étale sur toute l'étendue de l'aire préparée; dessus, afin de faciliter le mélange, on stratifie uniformément une brouettée de mortier, que l'on recouvre d'une seconde brouettée de cailloux, puis de la seconde de mortier, et enfin de la troisième de cailloux. Il faut commencer par une couche de cailloux; car, si l'on versait d'abord du mortier, comme il tend à remonter sur la plate-forme, son mélange avec les cailloux serait difficile.

Fig. 149.

Cette première opération terminée, on retrousse le tas avec la pelle, puis avec la griffe on l'étale de nouveau en tirant la matière à soi tout autour du tas; on retrousse la masse, puis on l'étale, et l'on continue jusqu'à ce que le mélange soit complet.

Temps de fabrication de 1 mètre cube de béton avec la griffe

Lavage des cailloux	0h,60
Charge, transport et étalage des cailloux et du mortier	1 ,70
Mélange	5 ,00
TOTAL	7h,30

Le prix de fabrication du mètre cube de béton, à Paris, revient à moins de 3 francs.

Quand on a une grande quantité de béton à fabriquer, on fait usage de machines.

La *machine à coffres* se compose de 10 coffres en fonte (*fig.* 150). Sa manœuvre exige de 6 à 10 ouvriers, dont la moitié de chaque côté de la machine. A la tête de la machine, on établit une plate-forme en planches, sur laquelle on fait la stratification des cailloux et du mortier, que l'on approche à la brouette. Des ouvriers jettent à la pelle le mélange préparatoire dans le premier coffre A, lequel étant convenablement rempli, deux ouvriers, saisissant les poignées *a*, *a*, le font tourner autour de son axe pour en verser le contenu dans le deuxième coffre B; ils remettent le coffre A dans sa position primitive, et pendant qu'on le charge de nouveau ils font passer les matières du deuxième coffre dans le troisième; puis ils viennent recommencer par le premier coffre, s'il y a 10 ouvriers occupés à la manœuvre, pendant que les 2 ouvriers voisins font passer la matière dans les deux coffres suivants, et ainsi de suite. Un léger choc des poignées *a*, *a*, sur le haut des jambes de force du coffre suivant, suffit pour détacher la matière

et la faire passer d'un coffre dans l'autre. La matière est convenablement mélangée et fournit un bon béton quand elle a passé dans les dix coffres. Le dernier coffre verse le béton à l'endroit où il doit être employé.

Une machine à coffres coûte environ 550 francs de premier établissement. L'établissement d'une plate-forme à chaque extrémité de la machine, l'intérêt du prix d'achat des brouettes, des seaux, etc., et l'entretien peuvent être évalués à 80 francs par an.

Avec 10 hommes on peut fabriquer 35 mètres cubes de béton par journée de 10 heures, revenant à moins de 3 francs le mètre cube, compris main-d'œuvre.

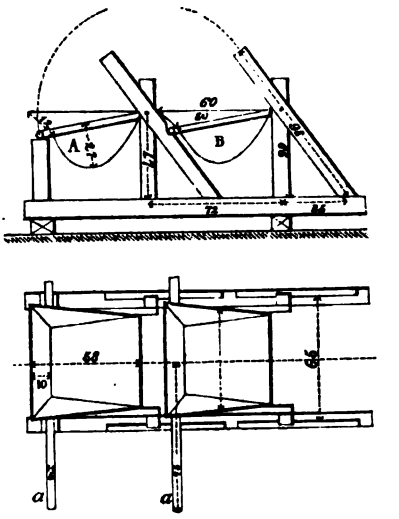


Fig. 150.

Pour la fabrication de 1 mètre cube de béton, le temps des ouvriers se divise comme suit :

Lavage des cailloux	0h,60
Dosage et approchage des cailloux et du mortier	2 ,00
Étendage des cailloux et du mortier, et placement dans les coffres	0 ,86
Service de la machine	2 ,86
Enlèvement du béton	0 ,60
TOTAL	6h,92

On fabrique aussi le béton avec un *couloir-caisse à béton*. C'est une caisse rectangulaire de 1 mètre sur 0m,80 de section, et de 2m,50 de hauteur, en bois de 0m,075 d'épaisseur. Elle porte, à la partie inférieure, une ouverture latérale de 1 mètre de largeur sur 0m,60 de hauteur, par laquelle sort le béton ; à sa partie supérieure, sur sa large face, se trouve un plan incliné en bois doublé de tôle de 0m,003 d'épaisseur, sur lequel on place les matières à mélanger, lesquelles, en quittant ce plan, tombent d'abord sur un deuxième plan, incliné en sens contraire du premier et fixé au milieu de la caisse, contre la paroi opposée ; puis sur un troisième plan, incliné comme le premier, et dont le bas repose sur le seuil de l'ouverture latérale de la caisse, de manière à y amener la matière mélangée. Le prix d'une telle machine, y compris un

échafaudage ou une rampe pour élever les matières, est de 150 francs. Le prix de fabrication de 1 mètre cube de béton, avec cette machine, revient à 1 fr. 70 environ.

Nombre d'heures d'ouvrier pour fabriquer 1 mètre cube de béton

Lavage des cailloux	0h,60
Dosage et approchage des cailloux et du mortier	2 ,00
Pour jeter et étendre ces matières sur le plan incliné du couloir	0 ,86
Pour débarrasser le couloir du béton fait	0 ,60
TOTAL	4h,06

La figure 151 montre un couloir à béton comportant 8 plans inclinés.

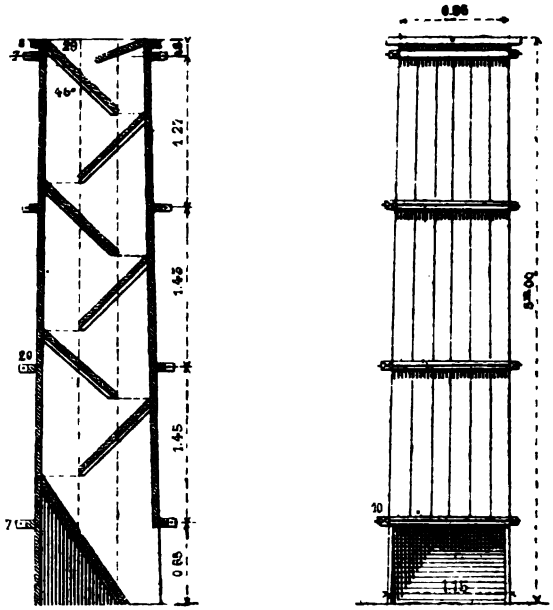


Fig. 151.

Couloir cylindrique à béton, dit bétonnière. — Les machines à coffres et les couloirs-caisses avec plans inclinés sont remplacés avec avantage par le couloir cylindrique Schlosser.

Un tube cylindrique vertical en forte tôle, de 2 mètres de haut et de 0m,50 de diamètre, est muni intérieurement de 23 croisillons en fer rond de 0m,01 de diamètre. Ces croisillons sont également espacés et ils sont dirigés suivant des diamètres du cylindre, dont ils occupent la hauteur; leur ensemble divise la

base du cylindre en parties égales; chacun se trouve dans le plus grand angle formé par les croisillons supérieurs et divise cet angle en deux parties le moins inégales possible.

Le tube cylindrique est prolongé inférieurement par un tronc de cône de 0m,30 de hauteur, dont la base supérieure est égale à celle du cylindre, et dont la base inférieure a 0m,28 de diamètre. Cette base inférieure est munie d'une porte qui est mobile autour d'un goujon parallèle à l'axe du cylindre, c'est-à-dire dans un plan perpendiculaire à cet axe, et que l'on ouvre ou ferme en la manœuvrant avec une queue en fer qui y est fixée.

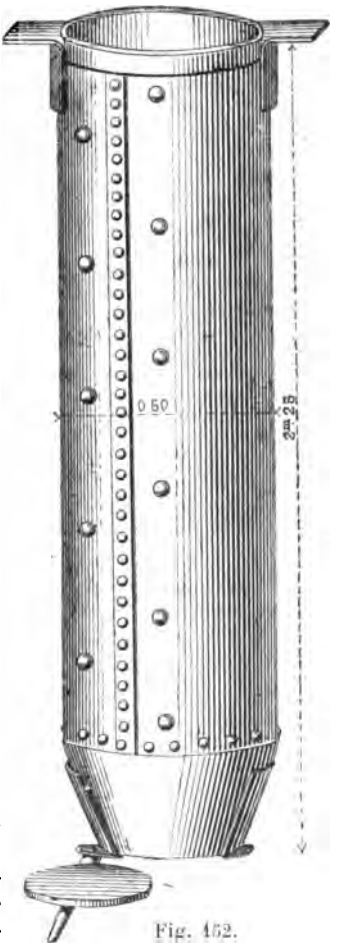


Fig. 152.

Cette bétonnière (*fig.* 152) est munie latéralement à sa partie supérieure de 3 ou 4 oreilles, par lesquelles on la suspend aux poutres du plancher sur lequel on fait le dosage des matières. Ce plancher se pose à un niveau tel que les brouettes, camions ou wagonnets puissent être placés sous le couloir pour recevoir le béton quand on ouvre la porte inférieure. Si le béton ne s'emploie pas en contre-bas du sol, on rend le plancher accessible au moyen de chemins faits avec des madriers, et dont la pente ne doit pas excéder 0m,20 par mètre.

La manœuvre consiste à stratifier par couches les cailloux et le mortier en versant sur le plancher supérieur la moitié du dosage des cailloux nécessaires à la *bouloyée*, en versant sur ces cailloux, étalés à la pelle sur une épaisseur de 0m,20, la moitié du dosage du mortier, qu'on étale sur toute la couche de cailloux, en versant ensuite l'autre moitié des cailloux, qu'on étale sur la couche de mortier et qu'on recouvre à son tour de la seconde moitié de mortier; les matières sont jetées à la pelle dans le couloir, qu'on

remplit dans toute sa hauteur. On ouvre la porte inférieure, que l'on referme quand la brouette placée dessous est remplie de béton; on l'ouvre de nouveau pour remplir une autre brouette, et ainsi de suite. Au fur et à mesure que par le bas on retire le béton fabriqué, toute la masse descend dans le couloir, qu'on tient plein en chargeant par le haut et à propos le mélange de cailloux et de mortier.

Les *bouloyées* de béton sont formées de 3 brouettes de cailloux et de 2 brouettes de mortier, ou de multiples de ces nombres.

Une bétonnière coûte 200 francs, et elle suffit à fabriquer 50 mètres cubes de béton en 10 heures de travail, revenant à 1 fr. 50 le mètre cube.

Nombre d'heures d'ouvrier pour fabriquer 1 mètre cube de béton

Lavage des cailloux	0h,60
Dosage et approchage des cailloux et du mortier	1 ,50
Étendage des matières, et poussage ou jet dans le couloir	0 ,90
Ouverture du couloir et emplissage des brouettes de béton	0 ,40
TOTAL	3h,40

Prix de revient comparatif de la fabrication du mètre cube de béton

Griffe à dents	2f,86
Machine à coffres	2 ,63
Couloir à caisse en bois	1 ,57
Couloir cylindrique en tôle	1 ,40

Ces prix comprennent les frais de dosage, d'approchage et de mélange des matières, mais non ceux du transport du béton à pied d'œuvre, de sa mise en place et de son pilonnage, ni ceux de fabrication du mortier.

Transport du béton. — On transporte le béton à l'aide de brouettes, de wagonnets ou de brouettes à coffre, toutes les fois que la différence du niveau permet d'établir des rampes d'une inclinaison convenable, ou qu'il suffit de l'approcher d'une fouille au fond de laquelle on le fait arriver par une *coulotte* (caisse ou tuyau rectangulaire en bois) ou en le jetant directement depuis le dessus de la fouille. Quand la hauteur à laquelle on élève le béton ne permet pas l'usage de la brouette, on transporte le béton avec l'oiseau, en faisant usage d'échelles.

Mise en œuvre du béton hors de l'eau. — Lorsque le béton est employé pour massifs de fondations, blocs artificiels ou autres travaux hors de l'eau ou dans des enceintes asséchées, on le jette directement avec la griffe et la pelle dans la caisse ou l'enceinte qui doit le contenir, ou on le transporte et on le verse avec la brouette, le camion, le wagonnet, et parfois avec l'oiseau, sur la place qu'il doit occuper, en le régalant par couches hori-

zontales de $0^m,20$ à $0^m,25$, afin de rapprocher les cailloux qui tendent à s'écarter lorsqu'on jette le béton; cette précaution rend au béton son homogénéité. On pilonne les couches, au fur et à mesure qu'on les pose, avec les pilons en fonte ou en bois, afin de faire prendre aux cailloux les positions les plus favorables, et de remplir les vides, en répartissant uniformément le mortier.

Lorsqu'on est obligé d'interrompre des couches de béton, on les termine par redans inclinés (*fig.* 153), afin que les parties interrompues se raccordent avec celles qui se feront les jours suivants. Lorsqu'on veut continuer une couche interrompue qui a séché, on nettoie la surface du redan, et l'on applique dessus une couche de mortier frais, sur laquelle on pose le nouveau béton. On prend aussi cette précaution pour raccorder une couche qui a séché avec celle que l'on vient placer dessus.

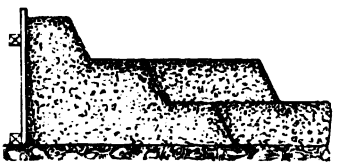


Fig. 153.

Quand on fait des bétonnages en élévation ou pour les blocs artificiels destinés aux enrochements de jetées, on maintient latéralement le béton frais par des coffrages ou des encaissements en madriers, que l'on construit sur place et qu'on doit bien dresser, surtout quand les parements qu'ils servent à former doivent être apparents.

Pour des fondations ou des voûtes, on peut remplacer les encaissements en madriers par des cloisons en vieilles briques posées de champ et hourdées en plâtre, que l'on démolit lorsque le béton a fait prise.

Pour obtenir des parements de maçonnerie de béton pleins et unis, on relève le long des encaissements les parties de béton les mieux fournies de mortier et dont les cailloux sont les plus fins. Sans cette précaution, il se trouve dans les parements des endroits où les cailloux se sont réunis, ce qui diminue la solidité des surfaces vues, qui s'égrènent et se désagrègent sous les chocs. Le transport de 1 mètre cube de béton à 30 mètres, sa pose et son pilonnage hors de l'eau exigent $6^h,5$ de travail.

Mise en œuvre du béton sous l'eau. — Pour des profondeurs d'eau ne dépassant pas $1^m,50$ à 2 mètres, on adopte le *coulage au talus*, qui consiste à descendre, au moyen d'une coulotte ou d'une caisse en planches, une certaine quantité de béton pour former le talus naturel, que l'on fait ensuite avancer, en posant le béton hors de l'eau à la crête de ce talus, comme s'il s'agissait d'un remblai. On facilite le glissement au moyen de la pelle. Le béton chasse devant lui la laitance (chaux délayée) qu'on enlève,

à mesure qu'elle se forme, au moyen de la drague à main ou de pompes. Le coulage au talus est employé pour massifs de radiers ou de fondations de ponts, quand la profondeur d'eau ne dépasse pas 2 mètres.

Quand la profondeur d'eau excède 2 mètres, le coulage du béton se fait au moyen d'une trémie en planches allant de la surface jusqu'au fond de la fouille, et dans lequel on verse le béton jusqu'à ce qu'il garnisse, sur une épaisseur suffisante, toute l'étendue à recouvrir, ou mieux avec des caisses prismatiques ou demi-cylindriques qu'on descend au fond de l'eau avec un treuil, où on les vide en les basculant ou en ouvrant une soupape, ou par tout moyen qui permet à la caisse de s'ouvrir en dessous.

La trémie permettant de verser le béton par plus grandes quantités à la fois qu'avec les caisses paraît être d'un meilleur emploi quand le béton doit résister à la pression de sources de fond qui tendent à le soulever; mais elle fait traverser au béton toute la hauteur d'eau et le délaye. Les caisses, en supprimant à peu près tout contact du béton avec l'eau pendant la descente, lui conservent mieux ses qualités.

La laitance se produit en plus ou moins grande quantité; elle est formée par la chaux délayée et par la vase qui s'est déposée sur le fond après le dragage, et qui se soulève quand on coule le béton.

Afin de remplacer la chaux qui forme la laitance, on en force la dose dans le mortier employé à la fabrication du béton destiné à être coulé.

Quand le béton est coulé dans une enceinte non jointive, la laitance est entraînée s'il existe un petit courant; mais, si l'enceinte est close, l'eau ne peut se renouveler, et la laitance se dépose en si grande quantité qu'il devient nécessaire de l'enlever.

L'immersion du béton doit se faire sans secousse, afin d'éviter tout délavement; la caisse doit être remplie, et la surface du béton doit être égalisée avec le plat de la pelle, de manière à la rendre lisse et plus propre à s'opposer à la pénétration de l'eau dans le béton. La caisse ne doit être vidée que quand elle arrive à $0^m,30$ ou $0^m,40$ du fond.

Quand il y a un courant, les *couches de caisses*, auxquelles on peut donner 1 mètre de hauteur, se forment en allant de l'amont vers l'aval, afin de favoriser l'écoulement de la laitance, qui se trouve entraînée en avant sur la couche inférieure, où elle se dépose et d'où on l'enlève avec la drague à main, ou mieux avec une pompe Letestu.

Les caissées doivent être descendues les unes sur les autres jusqu'à ce que le tas ait la hauteur qu'on veut donner à la couche. Quand un tas est formé, on avance le treuil sur l'empla-

cement du tas suivant, et l'on continue ainsi par zones de tas, en comprimant le béton au fur et à mesure de sa pose avec un pilon muni d'un long manche. Cette compression doit se faire par simple pression, et non en pilonnant; car des chocs, en refoulant violemment l'eau dans l'intérieur de la masse, en chasseraient le mortier. La laitance va se déposer entre les bases des cônes formant les sommets des tas, d'où il est important de l'enlever à mesure de sa formation, et surtout avant de placer dessus du nouveau béton, sans quoi elle formerait une espèce de vide sans consistance dans la masse. On facilite l'enlèvement de la laitance en la chassant avec une raclette en tôle ou un balai de bouleau vers la couche inférieure, ou même vers un puisard disposé exprès pour faciliter son aspiration par des pompes. Quand une couche de caissées de 1 mètre environ d'épaisseur est coulée, on en pose dessus une nouvelle, et l'on continue ainsi jusqu'à ce que le massif de béton arrive à la hauteur voulue.

Au lieu de faire l'immersion du béton par couches horizontales de caissées, pour faciliter l'écoulement de la laitance, on peut le couler par gradins allongés donnant lieu à un talus de 28 de base pour 4 à 5 de hauteur.

Le coulage au talus avec des caissées a été employé pour de grandes profondeurs d'eau. Toute la hauteur de béton se mène d'une seule couche, que l'on pose par bandes appliquées les unes contre les autres, montées successivement du fond jusqu'à la surface, et ayant un talus de 1 et 1/2 à 2 de base pour 1 de hauteur. Sous cette inclinaison, et à cause de la perte de poids due à l'immersion, il ne se produit aucun éboulement ni roulement de pierrailles, surtout si l'on emploie le béton aussi ferme que possible, et qu'on ne le comprime pas trop au fur et à mesure de sa pose. La laitance ne se forme qu'en petite quantité, et elle descend au pied du talus, d'où on l'enlève.

A chaque reprise du travail, des hommes, munis de larges balais en paille, nettoient, sans agiter l'eau, la surface du béton précédemment coulé. Chaque fois que le béton doit rester exposé sans revêtement à l'action des eaux, on dresse, comprime et lisse, au moyen d'un rouleau en fonte ou en pierre, la couche supérieure du massif.

Dans le cas où l'on est obligé de circonscrire l'espace où l'on veut jeter les fondations dans l'eau, on peut travailler à sec en enfonçant une rangée de pieux en pilots extérieurs D descendant plus bas que la couche de béton, en les joignant pour empêcher la pénétration de l'eau et en les maintenant au-dessus de l'eau au moyen de traverses (*fig.* 154). En dedans de ces 2 rangées de pieux, dit Daniel Ramée, on étend le massif horizontal de béton A entre les 2 rangées de pilots. Avant que ce massif soit entièrement pris (ce qui a lieu en 2 ou 3 jours), on enfonce à

0m,65 ou 1 mètre de la 1re rangée de gros pieux, une cloison *b*, en palplanches taillées en chanfrein ou en biseau vers le bas, de manière à ce que son pied entre de 8 à 10 centimètres dans le massif du béton. Ces palplanches sont maintenues à leur sommet par des soles ou sablières longitudinales *c*. On remplit alors de béton l'espace BB entre la rangée de gros pieux et les palplanches, jusqu'à une hauteur un peu au-delà du niveau supérieur de l'eau. Quand le béton est pris, on vide l'espace entre le fond et les 2 murs de béton et alors on maçonne à sec.

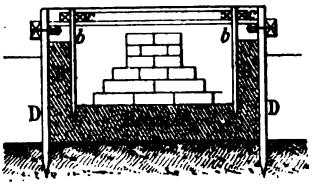


Fig. 154.

Coulage du béton sous l'eau (procédé Heude). — Pour faire pénétrer le béton entre des pieux battus au fond de l'eau et irrégulièrement espacés, on descend verticalement, jusqu'au fond de la fouille, un tube carré de 0m,40 de côté, en planches, de manière que son extrémité supérieure dépasse la surface de l'eau de 1m,50. Ce tube peut être soulevé à l'aide d'un treuil, roulant dans le sens de la largeur de la fouille, sur 2 madriers solidaires susceptibles d'être déplacés d'une extrémité à l'autre de la fouille, dans le sens de sa longueur. Ce système est supporté par un bâti établi sur l'enceinte contenant les pieux. On remplit le tube de béton, puis on le soulève légèrement à l'aide du treuil, et le béton s'écoule partiellement sur le fond. En changeant le tube de place au moyen d'une corde attachée à son extrémité inférieure, et en répétant la manœuvre ci-dessus, on fait arriver le béton au-dessus de la fouille sans l'avoir mis en contact avec l'eau. Il est indispensable, lorsqu'on soulève le tube, de ne pas faire descendre la partie supérieure du béton au-dessous du niveau de l'eau.

Lorsqu'on a déplacé l'extrémité inférieure du tube au moyen de la chaîne, le tube revient dans sa position verticale et le treuil se place de lui-même au dessus. On peut faire ainsi des couches continues de 0m,40 d'épaisseur.

Au début de l'opération, il faut jeter le béton dans le tube rempli d'eau ; ce premier béton risque d'être délayé ; on obvie à cet inconvénient en bouchant l'orifice inférieur du tube avec une planche retenue à la partie supérieure avec des cordes, et en descendant le tube au fur et à mesure qu'on le remplit de béton, de manière que la surface de ce béton soit toujours au-dessus de l'eau. Lorsque l'orifice inférieur est près du fond de la fouille, les cordes qui soutiennent la planche sont amenées obliquement et servent à retirer cette espèce d'obturateur.

Béton Treussart. — Le général Treussart recommande les

proportions suivantes pour des bétons destinés aux travaux hydrauliques :

1° 30 parties de chaux hydraulique très énergique, mesurée en volume avant l'extinction,
30 parties de trass d'Andernach,
30 — de sable,
20 — de gravier,
40 — de cailloux concassés (pierre calcaire dure) ;
2° 33 — de chaux hydraulique énergique, dosée avant l'extinction,
45 parties de pouzzolane d'Italie,
22 — de sable,
60 — de cailloux concassés en gros gravier.

Prix des bétons

Béton pour massifs de machines, composé de 400 kg de ciment de Portland pour 1^{m3} de gravillon ou sable.. le mètre cube	75 à 85 fr.
Béton composé de 0,5 de mortier pour 0,8 de cailloux lavés et sable ou de meulière, par couche de 0,20 . . . . le mètre cube	20^{f},20 et 25^{f},40
Béton plastique de meulières et ciment pour dallages de 0^{m},05 d'épaisseur, le mètre superficiel.	6^{f},50
Massif de fondation en béton de 0^{m},10 en cailloux et mortier avec chape, vaut, le mètre superficiel.	2^{f},50

Béton aggloméré François Coignet. — C'est un pisé composé de sable, de chaux en poudre et de ciment, qu'on substitue aux maçonneries ordinaires. On en a construit entièrement des édifices (l'église du Vésinet), des citernes, des réservoirs, des maisons, des égouts, des aqueducs ; on l'emploie aussi dans les travaux hydrauliques, dans les ponts, barrages, digues, quais, fosses d'aisances, pour faire des dalles, des bâtis de machines, des marches d'escalier, des bordures de trottoir, etc. Son emploi s'est généralisé et combiné avec le fer ; il forme des poutres, des linteaux, des arcs, des voûtes et cloisons, des piles, des colonnes, etc. (Voir *Planchers*).

Pour employer ce produit, on mélange une grande quantité de sable, une faible quantité de chaux hydraulique, avec ou sans addition d'une minime quantité de ciments lourds à prise lente de Portland ; on soumet ce mélange, humecté de quelques centièmes d'eau, à une trituration énergique et prolongée, exercée avec compression au moyen de malaxeurs, jusqu'à ce que ce mélange soit à un état de pâte pulvérulente ou poudre pâteuse ; on verse ce mélange par couches minces dans des moules, où il est aggloméré par les chocs répétés d'un pilon ; il acquiert la densité de 2,2.

Si le moule est établi sur la construction, on obtient une maçon-

nerie plus ou moins monolithique ; si l'on agglomère dans des moules mobiles, on obtient de la *pierre artificielle*.

Par ce traitement on vingtuple et au delà l'intensité de prise de la chaux. Ainsi, si l'on faisait un mortier ordinaire très maigre de 3 à 4 parties de sable, 1 de chaux en poudre éteinte par aspersion, et si l'on coulait ce mortier dans un moule pour en faire un cube, il faudrait des mois pour que ce cube pût être démoulé, et après une année, si ce bloc n'avait pas été détruit par les gelées ou l'ardeur du soleil, il suffirait du moindre choc pour le faire tomber en poussière ; tandis que, par l'agglomération, ce même bloc pourrait être démoulé séance tenante, il résisterait d'une manière absolue aux gelées et à toutes les intempéries, et il offrirait, après quelques mois, une résistance à l'écrasement de 100 kilogr. et plus par centimètre carré.

D'après Michelot, avec le dosage en volume :

Sable, 5 parties; chaux en poudre, 1; ciment lourd, 0,25,

on obtient un béton qui résiste à 200 kilogr. et plus à l'écrasement.

Avec le dosage:

Sable, 4 parties; chaux, 1; ciment, 0,50,

la résistance s'élève à 300 kilogr. et plus.

Enfin avec le dosage :

Sable, 5 parties; chaux, 1; ciment, 1,

la résistance atteint jusqu'à 500 kilogr. et plus par centimètre carré.

Cette résistance, résultant de l'agglomération, va sans cesse en augmentant; elle se produit sur tous les sables, chaux et ciments; en opérant sur des sables, des chaux ou ciments médiocres, on obtient néanmoins de bonnes maçonneries ; si l'on opère avec de bons matériaux, on réalise une sûreté, une résistance supérieure à celle des meilleures maçonneries.

Voici quelques dosages pour travaux publics, égouts, murs de soutènement, réservoirs, etc. :

1° Sable de rivière ou de plaine	1^{m3}
Chaux du bassin de Paris	125^{k}
Ciment à prise lente	50^{k}
2° Sable de rivière ou de plaine	1^{m3}
Chaux éminemment hydraulique (Teil, Virieu-le-Grand, etc.)	175^{k}
3° Sable de Fontainebleau	1^{m3}
Chaux du bassin de Paris	150^{k}
Ciment à prise lente	60^{k}
4° Sable de Fontainebleau	1^{m3}
Chaux éminemment hydraulique (Teil, Paviers, Virieu-le-Grand, Seilley, etc.)	210^{k}

Pour fabriquer des pierres artificielles, le mélange peut atteindre 400 kilogr. de chaux et 400 kilogr. de ciment pour 1 mètre cube de sable.

Pour les fondations, voûtes et sous-sols de maisons de toutes hauteurs, on réalise la perfection avec le béton aggloméré: solidité, absence de tassement, beauté de forme, netteté des parois quoique sans enduits, réduction du cube, économie, hardiesse inouïe des voûtes. L'application aux tunnels et souterrains réalise une grande supériorité. Tandis que les maçonneries laissent des vides derrière les parois ou au-dessus de la voûte, le béton aggloméré, sous l'action du pilon, comprime les terres ambiantes, et remplit tous les vides, ce qui empêche les infiltrations et procure le maximum de résistance.

Les *enduits* ont une épaisseur qui est souvent de plusieurs centimètres ; appliqués sur béton aggloméré, ils tendent à s'en détacher, par inégalité de dilatation, et à se fendiller. La maison Coignet a obtenu l'*étanchéité*, pour le viaduc de la Vanne, en leur substituant un glacis de ciment à prise lente, frotté, lissé à la truelle ; ce glacis n'ayant pas 1 millimètre pénètre dans les pores et fait corps avec la maçonnerie. A l'essai, la perte d'eau a été nulle.

Ce moyen d'étanchéité est d'un grand avantage pour la construction des citernes, bassins et réservoirs, pourvu qu'ils soient construits en béton aggloméré.

Les maçonneries en béton aggloméré doivent être pilonnées dans le sens des efforts à supporter ; ainsi, pour une voûte, le pilonnage doit se faire normalement aux faces des voussoirs que remplace le béton ; sans cela les surfaces s'écaillent promptement.

Pour les égouts, on ne fait pas d'enduit ; on laisse les parois intérieures avec le lissé que laissent les encaissements. Les égouts en béton aggloméré manquent de sonorité ; c'est leur inconvénient.

Le béton aggloméré peut être coloré et devenir ainsi très décoratif. Le béton aggloméré coulé dans des moules donne des pierres artificielles pouvant prendre toutes les formes: lucarnes, pilastres, vases, etc. La maison A. Paul Dubos a exécuté ainsi des travaux d'un très bel effet et très économiques.

Maçonnerie de pierre de taille ou maçonnerie vive

Appareils. — Dans tout appareil une pierre doit avoir deux faces normales à la direction de l'effort auquel elle résiste et qu'elle transmet; pour un mur vertical, les faces inférieure et supérieure de chaque pierre doivent être horizontales ; ces faces (*lits*) doivent être les mêmes que celles qui forment les lits à la carrière, quand les pierres proviennent de roches stratifiées

(*fig.* 155 : 1, élévation ; 2, plan de l'assise inférieure ; 3, coupe transversale suivant *ab*). La face apparente d'une pierre est son *parement*. Les faces latérales sont les *joints ;* elles doivent être perpendiculaires au parement et aux lits. On donne aussi le nom de *joint* à l'intervalle $0^m,004$ à $0^m,010$ qu'on réserve toujours entre les pierres, pour éviter qu'elles se touchent, et qu'on remplit de plâtre ou de mortier pour relier les pierres.

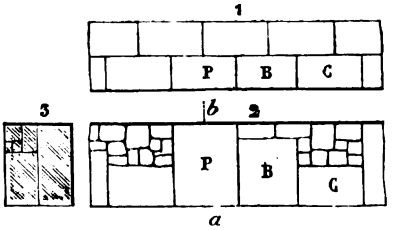


Fig. 155 et 156.

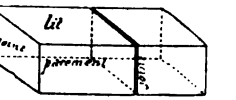


Fig. 157.

On donne le nom d'*assise* à chaque rangée horizontale de pierres. La *hauteur d'assise* d'une pierre est la distance de ses lits. Dans une construction solide cette hauteur doit être égale pour toutes les pierres d'une même assise, et, si la construction est soignée, elle est la même pour les différentes assises.

La dimension d'une pierre perpendiculairement à son parement, c'est-à-dire la quantité dont elle pénètre dans l'épaisseur du mur, s'appelle *queue*. Pour une même assise, la longueur de queue doit être différente pour deux pierres consécutives, afin que les matériaux d'une même assise se relient bien. Une pierre C, plus longue en parement qu'en queue, prend le nom de *carreau*.

Le rapport entre la longueur du parement et la hauteur d'assise d'un carreau, pour une pierre tendre, ne dépasse pas 2,5 ; pour une pierre dure, il va à 3,5. Une pierre B, plus longue en queue qu'en parement, prend le nom de *boutisse ;* sa longueur en parement doit toujours être plus grande que sa hauteur d'assise. Une pierre P, qui s'étend d'un parement à l'autre du mur, fait *parpaing*, et elle-même prend le nom de *parpaing ;* elle porte donc 2 têtes formant 2 parements sur les 2 faces du mur.

Les joints verticaux ne doivent pas se correspondre dans deux assises consécutives ; leur distance doit être de $0^m,16$ à $0^m,20$ au moins.

La face latérale opposée au parement et noyée dans l'épaisseur du mur se laisse entièrement brute, et l'on garnit par un blocage les vides qui restent entre les pierres qui forment les parements.

Il faut éviter de placer des joints verticaux ou horizontaux dans

les angles rentrants ou saillants que peut former le parement d'un mur. Une pierre formant l'angle de deux murs doit faire partie de ces deux murs, afin de les relier (*fig.* 158), et s'il y a une retraite horizontale dans le parement d'un mur (*fig.* 159), il faut éviter qu'elle corresponde à un lit, afin de ne pas avoir un joint dans une partie où l'eau peut couler et séjourner.

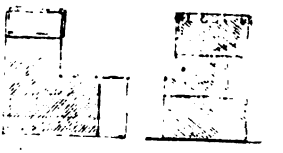


Fig. 158 et 159.

Généralement les *carreaux* ou *carrotins* sont de petits blocs de pierre taillée, de peu d'épaisseur, qu'on pose alternativement avec des pierres boutisses pour faire liaison. Elles ont de 0m,40 à 1 mètre de longueur. Au-dessous de 0m,40 les blocs prennent le nom de *moellons*, et au-dessus de 2 mètres celui de *pierre de taille*.

Dans les murs peu épais on place les pierres de taille selon leur longueur, et dans les murs épais alternativement en longueur et en parpaing, les intervalles étant remplis par des pierres régulières.

On superpose les assises ou *croise-joints* verticalement, afin d'avoir une bonne liaison.

Les faces horizontales des pierres doivent être plutôt convexes, jamais concaves.

Le *démaigrissement* est une disposition oblique des parements de lits et de joints d'une pierre par rapport au parement de face.

Fig. 160.

Le démaigrissement d'une pierre procure un joint de mortier plus large à mesure qu'il s'éloigne du parement (*fig.* 160). Cette disposition permet d'obtenir des joints bien fins sur le parement et de rendre ce dernier plus propre.

Le démaigrissement de parements de lit est funeste pour la solidité de la construction, car la pierre a moins d'assiette, et le tassement est plus considérable. Quant au démaigrissement des joints, il n'a aucun inconvénient.

Les pierres de *grand appareil* n'ont pas moins de 0m,40 à 0m,50 de haut sur 0m,70 de long, et cette dimension peut être aussi considérable que le comporte la nature des matériaux.

La longueur des pierres de *moyen appareil* est comprise entre 0m,30 et 0m,70; celle des matériaux de *petit appareil* est inférieure à 0m,30. Lorsque le petit appareil a moins de 0m,15, la hauteur des pierres est presque toujours égale à leur largeur; mais, lorsqu'elle est moindre, c'est le *petit appareil allongé*.

Les Grecs employèrent l'appareil *isodomum* (*opus insertum*, *fig.* 161), dans lequel toutes les pierres sont de même dimension, et placées en liaison, c'est-à-dire disposées de façon que les

joints verticaux d'une assise soient au milieu de chacune des pierres qui composent l'assise inférieure et l'assise supérieure. On emploie pour les pierres de taille les mêmes dispositions que pour les briques (voir p. 457).

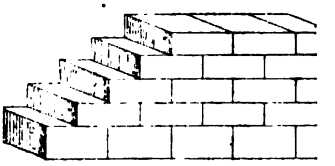


Fig. 161.

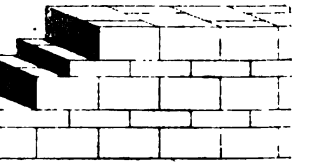


Fig. 162.

La figure 162 montre l'appareil *pseudisodomum*, par assises alternatives hautes et basses, d'une application commode pour les carrières donnant des pierres inégales.

La figure 163 montre une combinaison de pierres de même forme et de mêmes dimensions, disposées par assises de hauteur égale. Ces pierres, dont la hauteur est double de la largeur, présentent alternativement une face carrée et une face rectangulaire nommée *barlongue*. Les pierres à faces carrées (*parpaings*) forment seules l'épaisseur du mur, tandis qu'il en faut 2 des autres.

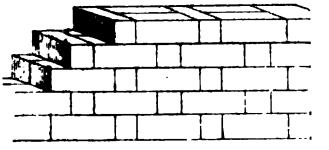


Fig. 163.

Les pierres sont posées en *besace* lorsqu'on place des pierres de même dimension alternativement en longueur ou en largeur à l'angle de deux murs de face ou d'un mur de face et de refend (*fig.* 164).

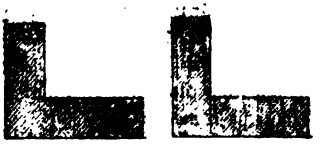


Fig. 164.

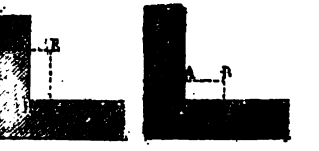


Fig. 165.

La figure 165 montre l'appareil à *harpes* et *évidement*, également pour angle de murs extérieurs ; chaque pierre d'angle appartient à la fois aux deux murs et y pénètre par des saillies ou *harpes* alternativement longues et courtes. Ce système est coûteux à cause du déchet provenant des évidements ABCD, EFGH.

La figure 166 montre l'appareil en besace appliqué à l'angle des murs de refend ; une assise sur deux présente une pierre posée en boutisse qui pénètre dans l'autre mur.

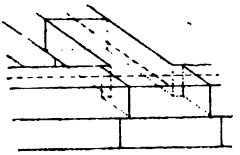


Fig. 166.

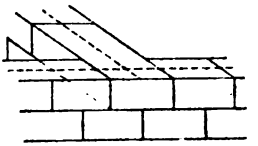


Fig. 167.

Dans la figure 167 l'angle est appareillé pour mur de refend, au moyen de pierres à 3 harpes, deux dans l'un des murs, et la troisième dans l'autre, ces harpes étant, dans chaque mur, alternativement longues et courtes.

Dans les contrées où la pierre est rare et très dure, on emploie l'*appareil polygonal*, formé de pierres de toutes dimensions et formes ; on les juxtapose en joignant ensemble les faces semblables et dont les parements forment des polygones plus ou moins irréguliers.

Pour les murs soumis à des efforts horizontaux ou obliques, à des chocs violents, tels que murs de jètées, de ports, de phares, on relie les différentes pierres et assises au moyen d'encastrements réciproques (*fig.* 168).

Fig. 168.

La figure 169 est un appareil applicable aux phares. La figure 170 montre l'appareil à *joints recoupés*.

Fig. 169.

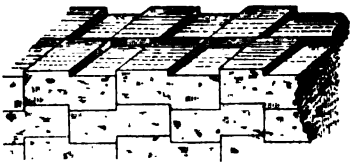


Fig. 170.

On ajoute souvent des crampons en fer pour assurer la rigidité du système (*fig.* 169).

Joints apparents, refends. — Pour la face extérieure d'un mur, on accuse souvent les joints par une substance colorée mélangée à l'enduit avec lequel on les rebouche. Mais on élargit souvent le joint en pratiquant au pourtour de chaque pierre un

refend, entaillé de $0^m,01$ à $0^m,08$ de profondeur, et de $0^m,03$ de largeur. La figure 171 montre un refend à arêtes vives du temple de Vesta, à Rome.

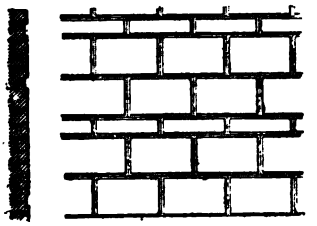


Fig. 171.

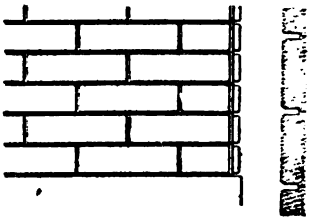


Fig. 172.

La figure 172 montre un refend à arêtes arrondies, profond de $0^m,085$, emprunté au soubassement d'un palais de la place de la Concorde, à Paris.

Bossages et vermiculures. — Comme il arrive quelquefois que les pierres s'*épauffrent*, c'est-à-dire s'écornent dans les lits, on prévient cet inconvénient en fouillant d'avance les joints.

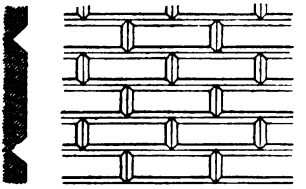


Fig. 173. — Bossage à pans inclinés ou à chanfrein.

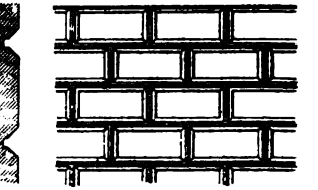


Fig. 174. — Bossage dont les arêtes sont abattues suivant un angle uniforme.

Le *bossage* est une saillie brute, ou façonnage, pratiquée sur la surface plane des murs, des arcades et même des colonnes. Les

Fig. 175. — Bossage ravalé (avec une table fouillée et bordée d'un listel). — Bossage carré ou en table en relief.

Fig. 176. — Bossage en liaison (à carreaux et boutisses).

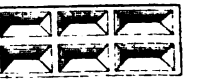


Fig. 177. — Pointes de diamants simples (bossage barlong).

bossages diffèrent des *refends* en ce que ces derniers sont des canaux taillés dans la masse et figurent des joints, tandis que les

bossages sont en relief sur le nu de la construction ; ils peuvent être séparés par des refends, ce qui les fait paraître encore plus saillants. Tantôt les bossages forment des chaînes isolées sur les murs, tantôt ils en couvrent toute la superficie (*fig.* 173 à 180). Généralement on ne fait de bossage que dans les parties les plus sujettes aux *épauffrures:* murs de soutènement, soubassements, rez-de-chaussée, chaînes saillantes.

Pour les pierres sujettes à s'effleurir à l'air, on donne aux parements des murs à peu près l'aspect qu'ils peuvent prendre avec le temps; c'est ce que l'on appelle faire des *vermiculures* (*fig.* 180).

Fig. 178. Pointes de diamants carrées.

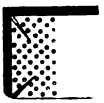


Fig. 179. Bossage pointillé et à griffes.

Fig. 180. Vermiculures.

Fig. 181.

Les **encoignures** sont les points faibles d'une construction; aussi les construit-on en matériaux de meilleure qualité, plus durs que le reste des murs, et leur donne-t-on une forte liaison dans chacun des deux murs. Dans les murs en moellons et en briques, on place des chaînes en pierre. Quand les murs forment, par leur rencontre, un angle trop aigu, on établit un *pan coupé* (*fig.* 181), ce qui donne une plus grande solidité et une circulation plus facile dans la rue.

Pour *décorer les murs*, on ne fait pas des refends seulement à tous les joints. Si les pierres ont de $0^m,50$ à $0^m,80$ de hauteur, on fait néanmoins les refends tous les $0^m,30$ ou $0^m,40$, en divisant toutefois de façon à faire coïncider chaque joint réel avec un refend.

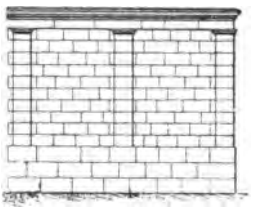


Fig. 182.

Les piles et les chaînes d'angles sont employées quelquefois, quoique le mur soit en matériaux de même nature. Ces piles et chaînes peuvent alors être dépourvues de harpes latérales. Leurs arêtes verticales sont droites et continues et affectent la forme de pilastres, ornés de moulures à la partie supérieure (*fig.* 182).

Taille de la pierre. — La taille seule des lits est suffisante pour la *maçonnerie de libages*, en blocs de pierres irrégulières et grossièrement dressées. Pour les maçonneries soignées et apparentes, il faut que les parements soient parfaitement dressés, et

que les joints le soient régulièrement. Toute pierre de taille qui ne fait pas parpaing doit être taillée sur 5 faces, qui sont planes dans les murs verticaux. La taille du parement est d'un fini plus parfait que celle des faces, noyées dans l'épaisseur de la maçonnerie.

Toute taille faite aux abords de la construction est dite *taille sur le chantier*. On nomme *tailles sur le tas*, celles qui sont faites sur place pour la réparation des édifices, et celles que l'on fait quand les pierres sont posées. On fait aussi sur le tas la taille qu'entraîne le *ravalement*, qui consiste en une retaille des parties saillantes résultant des défauts de la taille primitive ou de la pose, afin de dresser les parements vus. Cette opération se fait en même temps que le *rejointoiement*, qui consiste à remplir parfaitement de mortier ou de plâtre les bords des lits et des joints.

On donne le nom d'*abatage* à la partie de pierre piochée ou jetée bas à l'extérieur de 2 faces adjacentes conservées, pour former les angles saillants d'avant-corps, de harpes, de crossettes, de claveaux, et l'épannelage des moulures, etc., ou pour donner une forme cylindrique à une pierre. L'*évidement* est la partie de pierre piochée entre 2 faces adjacentes pour faire des angles rentrants d'arrière-corps, etc. Le *refouillement* est toute partie de pierre évidée à la masse et au poinçon entre 3 ou un plus grand nombre de faces.

On fait des *refouillements* pour des auges, des cuvettes, des cuillers, des châssis de regards, etc. Tout refouillement sur le chantier est compté en cube, séparément de la pierre en œuvre.

Les refouillements simples n'ont d'autre valeur que celle du temps passé. La figure 183 montre une pierre portant un simple refouillement *h*, *i*, *j*, *k*, et la figure 184 une pierre portant un évidement et un refouillement dans l'angle.

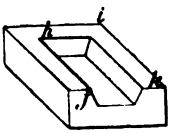


Fig. 183.

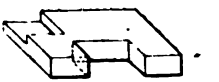


Fig. 184.

On commence par mettre la pierre en *chantier*, opération qui consiste à la soulever d'un côté jusqu'à ce que la face à tailler soit inclinée sous un angle de 73° environ à l'horizon, et de 17° avec la verticale, c'est-à-dire à 0m,30 de base pour 1 mètre de hauteur, comme l'indique la figure 185, et à la maintenir dans cette position à l'aide d'une cale C placée dessous, et d'un tasseau T établi derrière. Pour faire ces appuis, on emploie des moellons ou des éclats de pierre du chantier. Lorsque les pierres

sont très lourdes, pour les mettre en chantier, l'ouvrier se fait aider et se sert de la pince et du cric.

C'est par un des lits que l'on commence la taille d'une pierre. Après l'avoir mise en chantier, on trace sur une de ses faces latérales une ligne qui limite ce qu'il faut enlever sur le lit à tailler, soit pour le purger de bousin ou pierre imparfaite (*ébousinage*), soit pour donner à la pierre l'épaisseur demandée ; alors on fait avec le ciseau une *plumée* ou *ciselure*, de la largeur de cet outil, le long du côté du lit qui correspond à la ligne tracée, en suivant ce trait ; on vérifie de temps en temps si la ciselure est droite, en appliquant une règle dessus à mesure qu'on enlève les sinuosités. Cette première ciselure terminée, l'ouvrier en fait une semblable sur la même face le long de l'arête opposée ; pour arriver à mettre cette seconde ciselure dans un même plan avec la première, il applique contre la pierre (*fig.* 185), une première règle dont le champ effleure bien la ciselure faite dans toute sa longueur, et contre la face opposée il place une seconde règle qu'il *dégauchit*, c'est-à-dire amène dans une position telle que le plan passant par son œil et par l'arête de cette règle contienne l'arête qui coïncide avec la première ciselure ; la seconde règle, dans cette position, sert à tracer la ligne qui détermine la position de la seconde ciselure, que l'on exécute de la même manière que la première. Ces deux premières ciselures achevées, l'ouvrier en fait une semblable le long de chacune des deux autres arêtes de la face qu'il dresse ; le trait qui détermine la position de chacune de ces dernières se trace en faisant simplement passer par deux des extrémités des premières ciselures l'arête d'une règle appliquée contre la face latérale de la pierre.

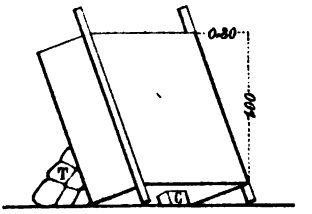


Fig. 185.

La face étant encadrée de ciselures, l'ouvrier achève de la dresser en faisant sauter les parties de pierre qui dépassent le plan des ciselures. Il commence à dégrossir à la pioche ou au têtu en n'atteignant pas au-dessous du plan des ciselures ; il finit de dresser le lit au rustique ou au marteau.

Le premier lit étant taillé, on trace dessus, d'après le plan d'appareil, la base de la surface latérale de la pierre ; ce qui se fait au moyen de l'équerre, si cette base est rectangulaire, ou de panneaux et de fausses équerres, si la pierre doit avoir des formes particulières. On emploie aussi un *gabarit*, carcasse légère en lattes donnant le contour polygonal que doit avoir le lit. Ce tracé terminé, on met la pierre en chantier pour tailler le parement ; cette face se taille comme la précédente, si ce n'est que, devant

être apparente, on lui donne un fini plus parfait; après avoir fait le dégrossissage à la pioche ou au rustique, on *relève* les ciselures, que l'on redresse si cela est nécessaire, et on termine la taille soit avec le marteau bretté ou laye et la ripe, soit simplement avec la boucharde.

Quand la taille du parement est terminée, on fait celle des joints, celle de l'autre parement, s'il y a lieu, et celle du second lit.

Toutes les faces d'une pierre de taille doivent être parfaitement dressées; mais la taille des lits et des joints doit être grossière, afin que le mortier adhère bien à la pierre.

La taille des parements de moulures se fait sur le tas pour la pierre tendre. Il en est de même pour les pierres dures lorsque les profils renferment des moulures de petites dimensions; on exécute seulement sur le chantier les tailles d'*épannelage*, qui consistent à préparer la masse dans laquelle on doit faire les moulures. Pour les pierres très dures, et lorsque les moulures ont de grandes dimensions, il y a avantage à faire la taille sur le chantier et même à la carrière, quand elle est très éloignée.

Temps des tailles. — Le *temps qu'exige la taille du mètre carré de parement de pierre dure* se divise comme l'indique le détail suivant, applicable à la pierre de roche de Paris :

1° Mise en chantier	$0^h,30$
2° Plumées ou ciselures	2 ,40
3° Dégrossissage de la pierre avec la pointe du marteau.	2 ,30
4° Première taille au moyen de la boucharde ou du rustique	1 ,40
5° Layement au moyen du marteau bretté	3 ,40
6° Ripement de la pierre	1 ,20
TOTAL	$11^h,00$

Cette taille comprend un abatage de $0^m,05$ à $0^m,10$ d'épaisseur.

Le temps employé pour tailles et retontes de parements courbes est égal à une fois et demie celui employé pour mêmes ouvrages sur plans.

Le temps exigé pour l'abatage, l'évidement et le refouillement de 1 mètre cube de roche dure ou de pierre de Château-Landon, de Châtillon-sur-Marne, etc., est au temps employé pour abattre 1 mètre cube de roche ordinaire, comme le temps nécessaire pour tailler le mètre carré de la pierre considérée est à celui que demande la même taille pour la roche ordinaire, ces tailles étant layées l'une et l'autre.

Désignant par x le temps qu'exige l'abatage sur le chantier du mètre cube de Château-Landon, la durée du même abatage dans la roche ordinaire étant de 75 heures, et le mètre carré de surface layée sur le chantier de la pierre de Château-Landon et de la

Temps que met un ouvrier pour exécuter 1 mètre carré de différents ouvrages de taille de pierre

NATURE DES PIERRES	LITS ET JOINTS DRESSÉS		PAREMENTS DROITS							TRAIT DE SCIAGE comprenant deux faces
	Pour ouvrages ordinaires	Pour assises circulaires et claveaux, après l'abatage	Rustiqués ou bouchardés grossièrement entre ciselures	Layés et ripés ou bouchardés finement entre ciselures bien dressées	Layés après			De moulures, y compris les talus d'épannelage, suivant des profils dont le développement de chaque membre varie de		
					abatage	évidement	refouillement	0m,01 à 0m,10	0m,10 à 0m,80 et au dessus	
	h.	h.	h.	h.	h.	h.	h.	h.	h.	h.
Pierre tendre (Vergelet, Conflans, lambourde, etc.)	2,50	2,00	3,00	5,10	2,15	5,00	5,15	17,00	13,50	9,00
Pierre franche (plaine de Paris).....	3,00	2,60	5,30	9,00	3,40	6,00	7,00	30,00	24,00	14,2
Pierre de roche, dureté ordinaire (plaine de Paris).	4,10	3,50	7,00	11,00	5,00	11,00	11,20	37,60	31,60	19,00
Pierre de roche très dure (Saint-Nom, Saillancourt, Bagneux, etc.).....	5,00	4,3	9,00	15,00	6,00	14,00	15,50	42,10	36,30	22,2
Pierre de roche, marbre, Château-Landon, Châtillon-sur-Marne, etc.....	6,2	5,5	10,00	17,00	7,00	15,5	16,8	44,00	38,00	30,10

Temps employé pour les abatages, évidements, refouillements et pour les retontes ou ravalements sur le tas y compris rejointoiement

NATURE DES PIERRES	POUR UN MÈTRE CARRÉ de retonte ou ravalement sur le tas					POUR UN MÈTRE CUBE					
	SUR MURS DROITS				SUR MOULURES	ABATAGE		ÉVIDEMENT		REFOUILLEMENT	
	Épaisseur des abatages en millimètres					sur le chantier	sur le tas	sur le chantier	sur le tas	sur le chantier, par grandes parties, pour auges, soupiraux, etc.	sur le tas, par petites parties, pour incrustements, percements de trous au-dessus de 0m,20 de côté
	2 à 7	9 à 27	29 à 54	56 à 81	9 à 18						
	h.	h.	h.	h.	h.	h.	h.	h.	h.	h.	h.
Pierre tendre (Vergelet, Conflans, etc.).....	2,70	4,00	6,25	8,50	9,00	33,00	43,70	45,2	48,7	77,5	96,3
Pierre franche (plaine de Paris).....	4,25	6,30	10,30	14,00	15,00	57,2	63,00	66,3	71,7	110,00	143,00
Pierre de roche ordinaire.	5,50	8,90	14,00	19,00	20,00	75,00	85,00	88,00	95,00	150,50	190,30

roche ordinaire exigeant respectivement 17 heures et 11 heures, on a :

$$x : 75 = 17 : 11, \text{ d'où } x = \frac{75 \times 17}{11} = 116 \text{ heures.}$$

Bardage. — Le bardage ou transport de la pierre de taille se fait au moyen de chariots, de diables, de roules, de bards ou de binards.

Sur un sol ferme et de niveau, le temps employé pour barder la pierre de taille à 100 mètres, au moyen d'un binard, servi par un chef bardeur ou pinceur (muni d'une pince en fer) et 6 garçons, se décompose ainsi :

Durée du chargement et du déchargement de 1/3 de mètre cube.	$0^h,60$
Durée du parcours de 100 mètres et du retour à vide..... ...	0 ,10
TOTAL.....	$0^h,70$

Pour 1 mètre cube, ces temps sont $1^h,80$ et $0^h,30$; total, $2^h,10$.

Si la distance de transport était N mètres, la durée du bardage d'un mètre cube de pierre à cette distance serait :

$$1^h,80 + 0^h,30 + \frac{N}{100}.$$

Lorsque le binard est traîné par 2 chevaux, et servi par 3 garçons et un chef bardeur, le temps se divise comme suit :

Durée du chargement et du déchargement de 2/3 de mètre cube.	$0^h,95$
Durée du parcours de 100 mètres et du retour à vide.....	0 ,07
TOTAL.....	$1^h,02$

Pour 1 mètre cube, ces nombres sont $1^h,425$ et $0^h,105$; total, $1^h,53$.

Pour la distance N mètres, la durée du bardage du mètre cube serait :

$$1^h,425 + 0^h,105 \times \frac{N}{100}.$$

Le bardage de pierre, jusqu'à 100 mètres de distance des travaux, revient à 7 francs le mètre cube ; pour chaque 100 mètres en plus, 1 franc.

Montage. — Pour monter une pierre, on l'enveloppe d'une corde sans fin, dont on écarte les brins (*fig.* 186). Aux points où la corde porte sur les arêtes, on empêche celles-ci de s'*épaufrer*, en les garnissant de petits paillassons épais. Cette corde (*élingue* ou *braye*) a ses extrémités réunies par une *épissure*, et on l'enveloppe d'une forte toile sous laquelle on met de la filasse.

Une esse fixée à l'extrémité de la chaîne ou du câble de la chèvre ou de la sapine, ou à la chape d'une poulie mobile manœuvrée par cette chaîne ou par cette corde, sert à accrocher la braye.

Lorsque les pierres sont destinées à des ouvrages précieux pour lesquels on les a taillées délicatement, on fait usage d'un instrument en fer (*fig.* 187), appelé *louve*, composé d'une partie centrale A, taillée en queue d'aronde à sa partie inférieure et dont la tête porte un anneau qui s'accroche à l'esse du câble de la chèvre ou de la sapine, et de deux parties latérales *a*, *a*, d'épaisseur uniforme, légèrement recourbées d'équerre par le haut, et retenues à la pièce A par un anneau qui leur permet tout mouvement longitudinal quand la louve n'est pas chargée.

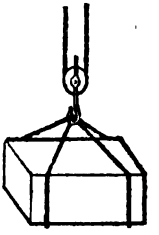


Fig. 186.

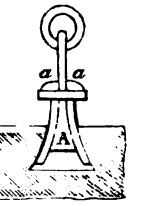


Fig. 187.

On fait dans le lit supérieur de la pierre un trou creusé en queue d'aronde de même inclinaison que la louve. Dans ce trou on introduit la base de la pièce A, en tenant les parties *a*, *a* soulevées de toute la longueur de la queue ; on fait descendre les pièces *a*, *a*, et la louve se trouvant emprisonnée, elle permet de soulever la pierre. On n'en peut faire usage pour les pierres dures.

On peut remplacer la louve par un simple piton à vis, que l'on fait pénétrer dans un trou creusé dans le milieu du lit de la pierre. Ce trou que l'on fait au trépan, ayant le diamètre de l'âme de la vis, les filets triangulaires de celle-ci se noient complètement dans la pierre.

Un atelier composé d'un brayeur et de 4 garçons, montant à chaque voyage 1/3 de mètre cube de pierre, mettrait :

Pour brayer ou louver la pierre.....	17 minutes
Pour la monter ou descendre à 5 mètres.....	18 —
Pour la recevoir sur le tas, la délier, descendre le câble et barder la pierre en haut et en bas à 4 ou 5 mètres de distance sur rouleaux.....	25 —
TOTAL POUR UN VOYAGE..	1 heure

Pour chaque mètre d'élévation ou de descente, en plus des 5 premiers, il faudrait compter environ trois minutes.

Quand, à proximité de la construction, passe une conduite dans laquelle la pression est suffisante pour faire monter l'eau à l'extrémité de la corde ou de la chaîne, opposée à celle qui porte le crochet d'attache des pierres, on fixe une caisse en tôle dans laquelle on fait arriver de l'eau en quantité suffisante pour que la caisse en descendant fasse monter le fardeau.

On emploie aussi les locomobiles et les moteurs à gaz pour élever les matériaux.

Pose de la pierre de taille. — Lorsque la pierre à poser est approchée à pied d'œuvre, on présente dans la place qu'elle doit occuper, en la faisant reposer sur des cales en bois, et quelquefois en plomb, ayant une épaisseur égale à celle qu'on veut donner au joint de mortier ($0^m,004$ à $0^m,010$). Ces cales se placent aux angles de la pierre et à $0^m,03$ ou $0^m,04$ des arêtes, afin d'éviter les écornures. Le poseur soulève la pierre à la louve, ou lui fait faire quartier sur le côté; puis il nettoie et arrose, si la pierre est tendre et spongieuse, l'assise inférieure et la pierre qu'il pose ; il étend sur la surface que doit couvrir la pierre une couche de mortier fin, d'une épaisseur un peu plus forte que celle des cales; il met la pierre en place, et il frappe dessus avec un pilon, une dame ou un maillet en bois, jusqu'à ce que le mortier *souffle* de toutes parts. Il enlève les cales quand la pierre occupe sa position définitive.

Il arrive souvent qu'on pose les pierres de *chaînes* d'angles et autres, de tablettes de couronnement, etc., en étendant de suite la couche de mortier fin, sans mettre de cales, et en réglant son épaisseur avec la truelle. Pour opérer ainsi, il faut que le mortier soit assez ferme, sans quoi le poids de la pierre le ferait couler, et l'on obtiendrait des joints d'une épaisseur trop faible et non uniforme, ce qui nuirait à la solidité.

Avant de poser la pierre, il faut s'assurer que le mortier ne contient pas de graviers d'une grosseur excédant l'épaisseur que doit avoir le joint; ce qui obligerait, pour les retirer, à soulever la pierre déjà en place.

Quelquefois les lits des pierres sont *flacheux* sur le derrière, c'est-à-dire que la queue se termine plus ou moins en pointe. Pour remédier à cet inconvénient, on remplit ces *flaches* avec des éclats de pierre dure, que l'on enfonce dans le mortier.

L'ouvrier doit éviter les *balèvres* (désaffleurements ou inégalités entre les pierres sur une surface commune), qui nécessitent ordinairement un ravalement dispendieux. S'il se sert de la pince pour faire abatage, il doit, pour éviter les écornures, placer un bout de latte ou de planche sur le bord des arêtes de la pierre, au point où porte la pince.

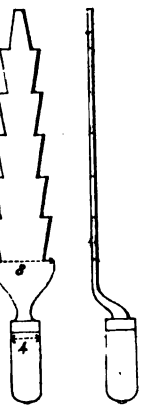


Fig. 188.

Une fois que la pierre est bien en place sur un bon lit de mortier, il ne reste plus pour terminer la pose qu'à remplir les joints montants, ce qu'on fait ordinairement à l'aide de la *fiche* à dents en fer (*fig.* 188).

Un autre moyen de poser la pierre consiste à la placer sur

cales, comme il a été indiqué ci-dessus, en ayant soin de nettoyer l'assise inférieure ; puis à ficher les joints, c'est-à-dire à les garnir de mortier, que l'on y fait pénétrer au moyen d'une *fiche* à dents. Les dents de cet outil pressent le mortier et le font pénétrer sous la pierre ; mais, comme la pression est proportionnelle à la surface pressante, il arrive parfois que les pierres sont ébranlées ; quelquefois il y a impossibilité de faire pénétrer le mortier en tous les points du joint.

Un troisième moyen consiste à poser les pierres sur cales, comme il a été indiqué ci-dessus, et à les *couler*, c'est-à-dire remplir le lit et les joints avec du plâtre gâché très clair ou coulis; on fait même du coulis avec du mortier de chaux ou de ciment. Pour faire ce remplissage, on ferme le contour des lits et des joints avec du plâtre ou du mortier, en laissant libre, à la partie supérieure des joints, une petite étendue sur laquelle on fait un godet dans lequel on verse le coulis ; on remue celui-ci en le versant, afin qu'il reste bien homogène.

Lorsque les pierres sont posées sur plâtre, la prompte solidification de cette matière oblige d'avoir recours à ce troisième moyen, surtout pour les pierres tendres ; on n'aurait pas le temps, avant la prise, de placer la pierre sur un lit de plâtre d'abord étendu.

Il n'en est pas de même du mortier de chaux, et, comme son coulis donne de mauvais résultats, il convient de n'en pas faire usage. L'eau qu'il contient étant absorbée par la pierre, il se forme des vides qu'on remplit difficilement, et comme de la dessiccation du coulis de mortier de chaux il résulte un retrait qui augmente ces vides, il arrive souvent que la pierre repose entièrement sur les cales, lesquelles, en pourrissant, occasionnent des tassements.

Lorsque la pose de la pierre se fait dans l'eau, il y a impossibilité à faire usage de mortier, qui serait délayé et lavé ; alors on pose les pierres sur cales en plomb. Un mortier à prise rapide et énergique, comme celui de ciment romain, peut être employé pour poser la pierre sous l'eau.

Quand toutes les pierres d'une assise sont posées, il arrive que quelques-unes sont plus élevées que les autres ; il y a alors nécessité d'*araser*, en enlevant les saillies avant de poser les pierres de l'assise qui doit couvrir.

Quand l'ensemble de la maçonnerie est terminé, on procède au *ravalement*, au *ragréement* et au *rejointoiement* des surfaces apparentes.

Une brigade composée d'un poseur, d'un contre-poseur et de 2 garçons, met le temps suivant pour poser 1 mètre cube de diverses maçonneries de pierre de taille :

Ouvrages ordinaires, parements de murs, chaînes, parpaings, parapets, cordons, etc.	4h,00
Assises en reprises, plates-bandes droites, voûtes en berceau	5 ,00
Assises en reprises par petites parties dans l'embarras des étais	7 ,50
Voûtes en arc de cloître, voûtes d'arête, voûtes sphériques ou calottes	10 ,00
Morceaux posés par incrustement	15 ,00
Pose par un maçon avec son garçon	
Libages, auges, bornes et autres ouvrages semblables	11 ,00
Seuils, marches, appuis, caniveaux	27 ,00
Dalles de 0m,08 à 0m,10 d'épaisseur, par mètre superficiel	1 ,25

Dépose de la pierre de taille. — Par mètre cube de démolition soignée, y compris le bardage de pierre, à une distance maximum de 10 mètres et son rangement, le temps employé est de :

Pour maçon ou déposeur	3h,5
Pour garçon	10 ,5

Volume de mortier ou de plâtre employé par mètre cube de différentes maçonneries de pierre de taille

Libages ordinaires	0m3,090
Assises ordinaires de 0m,30 à 0m,50 de hauteur	0 ,075
— 0m,50 à 0m,80 —	0 ,065
Parpaings et assises de 0m,25 à 0m,30 d'appareil	0 ,080
Claveaux de plates-bandes droites	0 ,085
Voûtes en berceau et en arc de cloître	0 ,100
Voûtes d'arête et sphériques	0 ,105
Marches, seuils et appuis, pour garnissage et coulement	0 ,175
Dalles de 0m,06 à 0m,10 d'épaisseur, 0m3,023 par mètre superficiel	0 ,290

Déchet de la pierre de taille. — Le déchet de la pierre de taille varie en raison : de la hauteur et de la longueur de l'appareil ; de la forme plus ou moins régulière des blocs bruts ; de la manière dont ces blocs ont été équarris et ébousinés sur la carrière ; de la qualité de la pierre ; de ce que l'appareil est ou non réglé en hauteur, longueur et largeur.

Le déchet est plus considérable pour les assises de bas que de haut appareil, il y a moins de déchet dans la taille de 2 lits d'une assise de 0m,60 que dans celle de 4 lits de 2 assises de chacune 0m,30.

Le déchet est plus considérable pour les pierres tendres que pour les pierres dures, à cause des plus nombreuses *épaufrures* de leurs blocs à l'état brut, et de leurs formes plus irrégulières.

On peut poser que le déchet qu'éprouve la pierre de taille, par le fait de la taille des parements des lits et des joints, varie de 1/18 à 1/3 de son volume à l'état brut.

Déchet qu'éprouve chaque assise ordinaire en pierre de 1 mètre à 1m,30 de longueur, sur 0m,40 à 0m,50 de largeur

HAUTEUR D'ASSISE	DÉCHET POUR LES PIERRES	
	DURES	TENDRES
0m,32	1/4	1/3
0 ,40	1/5	1/4
0 ,48	1/6	1/5
0 ,57	1/8	1/6
0 ,65	1/10	1/8
0 ,81	1/12	1/10

Pour les assises d'appareil réglé, le déchet est évalué à 1/4 de plus que les quantités précédentes.

Déchet de la pierre dans divers travaux

Libages dont les lits sont dégrossis, bornes, auges, etc.	1/18
Dalles de 0m,054 d'épaisseur	1/5
— de 0m,08 —	1/6
Seuils, marches et appuis	1/5
Claveaux pour plates-bandes droites et voussoirs mesurés par équarrissage, en pierre dure	1/6
Claveaux pour plates-bandes droites et voussoirs mesurés par équarrissage, en pierre tendre	1/5
Claveaux droits, dont les abatages sont compris dans le déchet, en pierre dure.	1/3
Claveaux droits, dont les abatages sont compris dans le déchet, en pierre tendre.	5/12

Les voussoirs des voûtes, lorsqu'ils ne sont pas mesurés par équarrissage, produisent un déchet difficile à exprimer; il dépend du diamètre et de la forme de la voûte. Blottas le fixe ainsi:

Voûtes en berceau.	Pierre dure. . . .	1/2
	Pierre tendre. . .	7/12
Voûtes sphériques et d'arête . .	Pierre dure. . . .	2/3
	Pierre tendre. . .	3/4

Maçonnerie de moellons

Ébousinage des moellons. — Cette opération, qui se fait sur l'échafaud, consiste, en faisant usage de la hachette, à les purger de leur *bousin* de carrière et à en dresser grossièrement les lits et les joints. Un ouvrier peut ébousiner 6 mètres cubes de moellons en 10 heures.

Les moellons ébousinés sont employés aux massifs de fonda-

tions ou à celle des murs dont les parements doivent être cachés ou recouverts d'un enduit.

Smillage des moellons. — Ce travail se fait au moyen de la grosse hachette ou de la laye; il consiste à dégrossir les moellons bruts et à régulariser leurs formes, en les taillant de manière que leurs joints soient plus ou moins pleins, et leurs lits à peu près parallèles entre eux et d'équerre avec le parement.

Un ouvrier, en 10 heures, peut smiller, pour la pierre dure, environ 300 moellons, ayant une surface totale de parement de 12 mètres carrés, ce qui fait en moyenne, pour chaque moellon, un parement de $0^m,20$ sur $0^m,20$; pour la pierre tendre, ce travail s'élève à 500 moellons, dont la surface totale de parement est de 19 mètres carrés.

Les moellons smillés sont employés aux parements de murs ou de voûte apparents, et que l'on rejointoie seulement.

Taille des moellons piqués et d'appareil. — On commence par établir un *chantier*, petit massif de $0^m,50$ à $0^m,60$ de hauteur en pierre sèche, sur lequel on pose chaque moellon pour le tailler ; ce que l'on fait en le dégrossissant d'abord ; puis, avec la laye ou la grosse hachette, en taillant son parement, de manière à le bien dresser et à n'y laisser aucune flache; enfin en coupant ses lits et ses joints bien d'équerre entre eux avec le parement, et de manière à faire des arêtes très vives. Quelquefois on trace les arêtes au moyen d'une petite équerre en fer. Les moellons d'appareil, qui sont employés pour les têtes de murs, ou comme voussoirs, sommiers, etc., sont taillés suivant les formes indiquées par des panneaux remis aux ouvriers et coupés d'après l'épure des ouvrages à exécuter.

Un ouvrier piqueur peut tailler environ 52 moellons de roche dure, correspondant à 2 mètres carrés de parement, en 10 heures; pour la pierre tendre, le produit journalier est environ de 105 moellons, fournissant 4 mètres carrés de parement.

Pose des moellons. — Les dispositions à donner aux moellons dans la maçonnerie doivent être les mêmes que pour la pierre de taille. Ainsi (*fig.* 189), dans une même assise on place un moellon court à côté d'un long, et jamais on ne fait correspondre les joints de deux assises en contact, afin qu'il y ait liaison complète dans la masse.

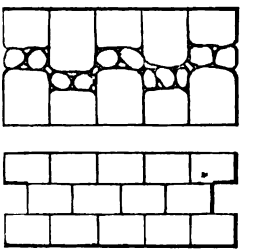


Fig. 189.

Pour qu'une construction en moellons soit bien solide, il faut qu'un certain nombre de moellons occupent toute l'épaisseur du mur, formant ainsi parement des 2 côtés; ces moellons sont nommés

parpaings. Ils empêchent les murs de *boucler* ou de se fendre.

Pour la *maçonnerie de moellons bruts* (*limousinage*) *ou smillés, hourdée en mortier de chaux*, après avoir nettoyé et mouillé l'endroit où il doit poser ses moellons, et arrosé ceux-ci s'ils sont trop secs, afin de faciliter l'adhérence du mortier à la pierre, le maçon étend une couche de mortier de $0^m,02$ à $0^m,03$ d'épaisseur sur l'assise, le long du parement du mur ou du massif qu'il construit ; cela fait, il commence par poser sur cette couche de mortier les plus beaux moellons pour continuer le parement, en les tassant au fur et à mesure avec sa hachette sur la couche de mortier, et en les amenant dans le plan des lignes ou cordeaux. Après avoir posé un moellon, l'ouvrier doit garnir de mortier son joint montant libre, et poser alors le moellon voisin sur la couche de mortier, en le poussant avec la hachette contre le moellon voisin, jusqu'à ce que l'épaisseur du mortier qui les sépare n'excède pas $0^m,02$. L'ouvrier doit placer en dessous le plus beau des lits de chaque moellon, et caler les moellons qui sont maigres de queue en enfonçant des éclats de pierre (*garnis*) dans la couche de mortier. Chaque moellon doit être bien affermi et tassé avec la hachette sur la couche de mortier; sans cela, les vides qui pourraient rester dans la maçonnerie occasionneraient des tassements.

Une fois les moellons des parements posés, l'ouvrier procède au *blocage :* il étend un lit de mortier, en garnissant le derrière des moellons de parements ; il pose à bain de mortier les principaux moellons de blocage, en les entremêlant et en les affermissant avec la hachette ; enfin il arase l'assise en remplissant les vides entre les moellons avec du mortier, dans lequel il enfonce des éclats de moellons, qu'il frappe avec la hachette jusqu'à ce que le mortier souffle de toutes parts.

Quand l'assise est arasée, le maçon ramasse le mortier qui recouvre les joints, et il l'applique sur le blocage. Beaucoup d'ouvriers enduisent les joints à chaque arase d'assise ; c'est une très mauvaise habitude sous le rapport de la solidité de l'ouvrage, ainsi que de celui de l'économie de temps et de mortier. Les joints étant ainsi enduits, le dessus de l'assise forme une surface lisse à laquelle la couche de mortier qui sert à poser l'assise supérieure adhère difficilement, surtout quand l'enduit a séché ou qu'il est couvert de poussière. Pour obvier à cet inconvénient, et pour obtenir l'adhérence complète, on serait obligé de dégrader les joints pour enlever le mortier sec, afin que le mortier frais, en y pénétrant, relie bien entre elles les deux assises. C'est surtout pour les maçonneries exécutées sur pied, c'est-à-dire sans échafaud, en marchant dessus, que cette précaution est importante.

Dans les murs de faible épaisseur on arase autant que possible chaque assise ; pour les massifs on laisse des moellons faire sail-

lie sur le plan de l'assise, afin de relier cette assise avec celle placée dessus.

Pour les *maçonneries de moellons hourdés en plâtre*, le maçon commence par préparer les moellons qui doivent former une certaine étendue du parement de l'assise, en les mettant en place à sec ; il gâche la quantité de plâtre suffisante ; il enlève les moellons préparés, en les laissant dans l'ordre de leur emploi ; il remue le plâtre et en étale sur le tas avec sa truelle pour poser deux ou trois moellons ; il pose de même les deux ou trois suivants, et ainsi jusqu'à ce qu'il ait employé le plâtre de son auge ; il remplit les joints et cale avec des éclats de pierre les moellons maigres de queue, à mesure de la pose.

Pour faire le *blocage* ou *garnissage*, le maçon étale un lit de plâtre entre les moellons des parements, et dessus il pose les moellons, en laissant entre eux des joints d'une largeur suffisante pour qu'on puisse les remplir de plâtre ; il doit poser tous les garnis à bain de plâtre.

Le plâtre, par son gâchage, foisonnant de 1/5 de son volume en poudre, et le prix du mètre cube de plâtre en poudre étant de 16 francs, le mètre cube de mortier de plâtre revient donc à	13f,33
Le mètre cube de moellons préparés pour être employés revient à.	11 ,00
La différence est donc	2f,33

La *pose des moellons piqués* se fait sur du mortier de chaux ou du plâtre très fin ; l'épaisseur des joints ne doit pas excéder un centimètre ; les moellons doivent être choisis tous de même hauteur pour chaque assise. Quand une assise est posée, on l'arase en taillant les moellons qui ont une trop grande épaisseur.

Mortier ou plâtre employé pour les maçonneries de moellons. — La quantité de mortier ou de plâtre employée au hourdage des maçonneries de moellons est d'autant plus grande que les moellons sont de formes plus irrégulières et de dimensions moindres.

Volumes de mortier et de plâtre en poudre employés par mètre cube de différentes maçonneries de moellons

DÉSIGNATION DES MAÇONNERIES	MORTIER	PLATRE EN POUDRE
	mèt. cub.	mèt. cub.
Maçonnerie de blocage en moellonnailles de formes irrégulières, et dont le volume n'excède pas 0m.c,003.....	0,400	0,320
Maçonnerie ordinaire de massifs ou de murs, en moellons dont les parements sont bruts ou smillés, et les lits et joints ébousinés ou équarris.	0,320	0,250
Maçonnerie de moellons smillés ou d'appareil, pour parements de murs, voûtes, etc.....	0,250	0,250

En comprenant le plâtre pour scellement des cintres de voûtes, on arrive à $0^{m3},240$ de plâtre.

Pour les maçonneries de meulière, les volumes du tableau précédent augmentent de leur 1/7 à leur 1/6.

La maçonnerie hourdée en plâtre éprouve plus de tassement que celle hourdée en mortier de chaux.

Temps d'exécution des maçonneries de moellons. — Ce temps varie suivant : 1° la perfection apportée dans le dressage des parements vus ; 2° l'épaisseur des maçonneries ; 3° la hauteur à laquelle le travail est exécuté. Voici le temps nécessaire à un maçon limousin pour exécuter 1 mètre cube de maçonnerie de moellons hourdée en plâtre :

DÉSIGNATION DES MAÇONNERIES	HEURES de limousin PAR MÈTRE CUBE
	heures
Massifs, blocages et remplissages des reins de voûtes, sans aucun ébousinage de moellons	3,0
Murs de fondations, de terrasses, etc., au-dessus de $0^{m},30$ d'épaisseur, sans aucun parement, les moellons ébousinés et bloqués le long des terres	4,0
Les mêmes, au-dessous de $0^{m},30$ d'épaisseur	5,0
Voûtes en berceau et murs de caves ou de clôtures au-dessus de $0^{m},40$ d'épaisseur, à deux parements, les moellons étant smillés proprement avant leur emploi.	5,0
Idem, au-dessous de $0^{m},40$ d'épaisseur	6,0
Parements de voûtes d'arête ou en arc de cloître	11,0
Murs en élévation, de $0^{m},40$ au moins d'épaisseur, construits entre deux lignes, jusqu'à 3 mètres de hauteur, les moellons étant ébousinés et les parements devant être recouverts d'un crépi ou d'un enduit	6,0
Idem, de 3 à 8 mètres de hauteur	8,5*
Idem, sur plan circulaire, élevé au plomb. jusqu'à 3 mètres de hauteur	9,0*
Idem, sur plan circulaire, élevés au plomb, de 3 à 8 mètres de hauteur	12,0*
Maçonnerie de moellons piqués, exécutée avec soin, pour parements de murs de caves, de clôtures ou de terrasses, les moellons étant servis tout piqués au maçon	11,0
Maçonnerie de moellons posés à sec pour perrés	4,0

(*) Ces trois nombres doivent être augmentés de leur 1/5 environ, lorsque les maçonneries ont moins de $0^{m},40$ d'épaisseur.

Lorsque la distance de laquelle on est obligé de barder les matériaux n'excède pas 10 mètres, un garçon est suffisant pour servir un maçon, c'est-à-dire pour gâcher son plâtre et approcher à pied-d'œuvre les matériaux. Lorsque la distance de bardage excède 10 mètres, le nombre d'heures de garçons doit être aug-

menté en raison de l'excès de la distance de transport sur 10 mètres. Quand les maçonneries sont hourdées en mortier de chaux, il faut ajouter au temps du garçon celui nécessaire à la fabrication du mortier employé.

Déchet de la taille des moellons. — Le déchet qu'éprouvent les moellons ébousinés est à peu près compensé par les $0^m,03$ qu'on donne en plus du mètre à la hauteur du *métré*, et par la partie de mortier qui empêche le contact des moellons.

Les moellons smillés ayant subi une taille plus considérable que ceux ébousinés, ils éprouvent un véritable déchet, c'est-à-dire que le mètre cube de moellons bruts ne peut fournir 1 mètre cube de maçonnerie de moellons smillés ; ce déchet varie de 1/10 à 1/5, en sus de l'excédent donné à l'emmétrage des moellons. Pour moellons piqués, dont la taille est plus parfaite, le déchet varie de 1/4 à 1/3. Pour moellons d'appareil, le déchet est moitié.

Dans ces évaluations les moellons trop petits pour être taillés ne sont pas comptés comme déchet; on les emploie comme *garnis* soit pour l'intérieur des murs, soit pour les reins des voûtes.

Maçonnerie de meulière

La facilité avec laquelle le mortier adhère à la meulière, en pénétrant dans ses nombreuses cavités, ainsi que la presque indestructibilité de cette pierre, soit par l'eau, soit par la gelée, la rendent propre aux constructions hydrauliques, aux soubassements et aux murs de fondations.

Taille de la meulière. — La meulière n'est pas susceptible d'être taillée proprement; on parvient cependant à en obtenir des parements.

Souvent on se contente de dégrossir les morceaux de meulière, et de rejointoyer les parements apparents; le plus ordinairement on les emploie bruts.

Pour faire le piquage et le smillage de la meulière, on se sert du couperet et du marteau. Ce travail est presque toujours fait par des *piqueurs de meulière.*

Piquage. — Pour bien piquer un bloc de meulière, l'ouvrier doit le faire reposer par un joint sur le sol ou sur le chantier; il donne des coups de couperet très secs, principalement sur les parties dures à faire sauter, en frappant dans le sens des joints. S'il y a nécessité de piocher sur le bord d'un des lits, l'ouvrier doit le faire avec ménagements, sans quoi il en résulterait, sur les arêtes, des épaufrures qui nécessiteraient le rebut de la meulière si elle n'avait plus des dimensions suffisantes.

Pour une dureté moyenne, un piqueur de meulière peut tailler environ dans sa journée 25 blocs, pouvant faire 1 mètre carré de surface de parement.

Smillage. — Le smillage consiste à former les lits et les joints

et à dégrossir les parements. Dans une journée, si la meulière n'est pas très dure, un piqueur peut en smiller 170 blocs, pouvant faire de 5 à 5^{m2},5 de parement; si la meulière est dure et caillasseuse, ce travail se réduit à 90 blocs au plus, pouvant faire de 3^{m2},25 à 3^{m2},50 de parement.

Déchet dû au smillage et au piquage de la meulière. — Ce déchet pour les meulières des parements smillés ou piqués varie de 1/10 à 1/3, suivant la forme plus ou moins régulière des matériaux bruts et le degré de perfection de la taille.

Nettoyage de la meulière terreuse. — Lorsque la meulière est couverte de terre, on l'en purge pour que le mortier puisse y adhérer. Cette opération peut se faire à l'aide de petits balais en fil de fer. Les meulières des environs de Corbeil, de Châtillon, etc., exigent rarement un nettoyage.

Pose de la meulière. — Elle se fait de la même manière que pour le moellon; quand les moellons sont de forme très irrégulières, au lieu d'araser chaque assise, on pose les blocs dans tous les sens, en les enclavant les uns dans les autres, de manière à rendre l'épaisseur de mortier aussi uniforme que possible; on affermit chacun d'eux dans son alvéole en le frappant avec la tête de la hachette; on assujettit, au moyen de cales ou garnis, à bain de mortier, ceux dont les lits ne sont pas plats. Les meulières piquées et smillées se posent comme les moellons.

Temps d'exécution des maçonneries de meulières. — Le temps d'exécution de 1 mètre cube de maçonnerie de meulière est le même que pour la maçonnerie des moellons; le surcroît de durée, dû à l'assujettissement des meulières, à cause de leur forme irrégulière, se trouve compensé par le temps employé à l'ébousinage des moellons.

Mortier en plâtre nécessaire à la pose de 1 mètre cube de maçonnerie de meulière

DÉSIGNATION DES MAÇONNERIES	MORTIER	PLATRE EN POUDRE
	mèt. cub.	mèt. cub.
Maçonnerie de blocage ou garni de meulière dont le volume n'excède pas 0^{mc},003	0,450	0,360
Maçonnerie ordinaire en meulière brute, telle que massifs ou murs dont les parements sont recouverts d'un enduit ou rocaillés	0,400	9,320
Maçonnerie de meulière piquée ou smillée pour parements de murs, de voûtes, etc	0,330	0,264

Emmétrage des moellons et des meulières. — On dispose sur un sol uni les matériaux en tas dont la forme est un parallélipipède rectangle de 1 mètre de hauteur. Ces tas s'établissent comme

la maçonnerie en pierre sèche ; les matériaux se posent par assises, et à la main, en les enclavant les uns dans les autres. On donne un excès de $0^m,02$ à $0^m,03$ à la hauteur des tas pour compenser les vides. L'ouvrier doit dresser les parements des métrés sans se servir d'aucun outil ni pour tasser les matériaux.

Lorsque l'emmétrage est fait convenablement, un ouvrier peut disposer 10 à 12 mètres cubes de matériaux en 10 heures.

Rocaillages

Rocaillages ordinaires. — Quand on veut donner aux constructions un aspect rustique, on rocaille les parements vus, c'est-à-dire qu'on les fait avec des moellons ou meulières brutes ou smillées grossièrement, et l'on remplit les grands joints et les défauts formés par les irrégularités des moellons ou des meulières au moyen d'éclats de moellons ou de petits garnis de meulière brûlée concassée.

Les rocaillages se font de deux manières : la première consiste à poser les éclats de meulière au fur et à mesure de l'exécution de la maçonnerie, avec le mortier employé pour hourder cette dernière. Dans une partie des forts des environs de Paris, les meulières de parements ont été smillées grossièrement et posées par assises presque de niveau, et les joints de mortier qui les enveloppent ont été garnis d'éclats de meulière ; dans une autre partie, les meulières de parements sont brutes ; on les a posées en les enclavant, en laissant apparente leur plus belle face, et l'on a rempli les joints avec des rocailles.

La deuxième manière de faire les rocaillages consiste à construire entièrement la maçonnerie, puis à dégrader le mortier apparent des joints, pour le remplacer par du nouveau, dans lequel on enfonce des rocailles.

On peut assujettir les fragments avec du ciment romain auquel on donne la couleur rouge de la meulière brûlée.

Rocaillage pour enduits. — On construit aussi des rocaillages qu'on ne laisse pas apparents ; leur but est de remplir les grands joints qui existent dans les parements de meulière brute avant d'appliquer l'enduit de mortier, ou de faciliter l'adhérence de l'enduit sur d'anciens parements ou sur des parements neufs qui n'offrent pas assez d'aspérités, tels que ceux en moellons.

Rocaillage d'ornementation. — Outre les rocaillages ordinaires, on en fait qui recouvrent entièrement des parements apparents de murs en meulières ou en moellons ; ils sont formés d'un mélange de coquillages, de cailloux roulés, de silex, de caillasse et de petits éclats de meulière et de mâchefer de $0^m,03$ à $0^m,04$ de côté, que l'on scelle sur un crépi de mortier de chaux, de ciment romain ou quelquefois de plâtre colorié. Souvent on fait cuire

la meulière avant de la casser, afin de donner aux éclats une couleur plus vive.

Ces sortes de rocaillages, encadrés par des bandeaux en pierre de taille formant des rectangles, des losanges, des cercles, etc., fournissent des ornementations; on orne ainsi les soubassements des maisons de plaisance.

Le grès doit être rejeté, car il transmet l'humidité ; si on est obligé de l'employer, il faut le recouvrir, à la hauteur du premier plancher, d'une couche de béton ou d'une lame de plomb isolatrice.

Les ouvriers *rocailleurs* font ce genre de rocaillages; ils construisent également les grottes et les rochers en meulières et cailloux dans les jardins auxquels on veut donner un aspect pittoresque.

Quantités de mortier nécessaires au scellement des rocaillages, et nombres d'heures d'ouvrier avec son aide pour exécuter ces rocaillages.

DÉSIGNATION DES ROCAILLAGES	POUR UN MÈTRE CARRÉ DE PAREMENT ROCAILLÉ	
	Heures de maçon avec son aide	Cube de mortier
	heures	mètres cubes
Rocaillage fait au fur et à mesure de l'exécution des maçonneries, sur parement de meulière brute ou smillée grossièrement, posée par assises à peu près régulières ou dans tous sens (274).....	1,3	0,010
Rocaillage fait dans les mêmes conditions que le précédent, mais après l'exécution entière des parements des maçonneries.....	1,1	0,025
Rocaillage pour enduit, affleurant les plus forts moellons et meulières, compris le dégradage des joints pour la maçonnerie neuve, mais non le dégradage et le lavage pour la vieille maçonnerie.....	0,8	0,025
Rocaillage d'ornementation posé à bain de mortier, pour soubassement.....	3,0	0,040

Maçonnerie de briques

Maçonnerie de briques. — La grande solidité de la brique et sa parfaite adhérence aux plâtres, mortiers et ciments, permettent d'en obtenir d'excellentes constructions, et la rendent propre aux ouvrages hydrauliques.

Dans l'exécution des maçonneries, les briques se posent d'après les mêmes principes de liaison que les pierres de taille et les moellons, c'est-à-dire en évitant les continuations des joints, sur-

tout verticalement, condition à laquelle, du reste, la forme régulière des briques permet de satisfaire facilement. Il faut éviter de briser les briques pour les employer.

La brique destinée à être employée avec le ciment doit avoir séjourné dans l'eau pendant 1/4 d'heure et en avoir été retirée quelques minutes avant de s'en servir.

Appareillage. — Les murs en briques se font de différentes épaisseurs :

Ceux dont l'épaisseur est égale à celle d'une brique ($0^m,055$) prennent le nom de *galandages* ou de *cloisons en briques de champ*. La disposition à donner aux briques lors de leur pose est simple; il suffit (*fig.* 190) de faire correspondre chaque joint vertical de l'assise qu'on pose au milieu des briques de l'assise inférieure. Ces murs ne peuvent former que des séparations.

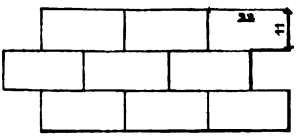


Fig. 190.

Les murs dont l'épaisseur ($0^m,105$ à $0^m,11$) est égale à la largeur des briques se désignent sous le nom de *cloisons en briques panneresses* ou de *briques à plat* (*fig.* 191 et 192). A la pose, les briques s'entrelacent comme dans les cloisons précédentes.

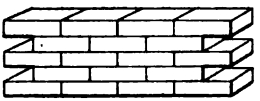


Fig. 191.

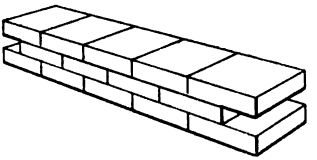


Fig. 192.

Cette cloison ne peut porter plancher que dans des constructions très légères et sans portée; elle donne une épaisseur dite de demi-brique.

Les briques se posent encore en épi soit à plat, soit de champ (*opus spicatum*, *fig.* 193). Cette disposition est usitée pour le *pavage*

Fig. 193.

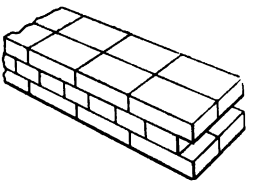


Fig. 194.

et pour les voûtes minces et légères en briques ; on doit éviter la continuation des joints verticaux, ce qui est facile.

Jusqu'à une épaisseur égale à la longueur d'une brique, les constructions en briques sont qualifiées de *cloisons*. Le nom de *murs* n'est applicable qu'aux constructions qui ont au moins une longueur et demie de briques comme épaisseur.

Les *cloisons d'une brique d'épaisseur* peuvent porter plancher, comme mur de face et mur de refend, quand elles sont bien maçonnées.

Dans l'appareil (*fig.* 194), les *rangs* ou *tas* sont composés de 2 en 2 avec des *boutisses* simplement posées à plat, et les rangs intermédiaires sont composés de deux files de briques à faces barlongues ou en long (ancien appareil grec).

Les murs d'une brique et demie (la figure 195 en donne deux rangs successifs) sont faits suivant l'appareil de la figure 194, dans lequel on ajoute une file de briques en longueur derrière chaque rang de boutisse et une file de briques en long dans les

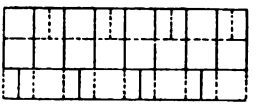


Fig. 195.

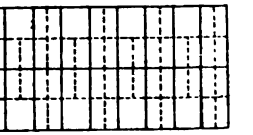


Fig. 196.

autres rangs. Le parement offre, par suite, l'aspect du parement de la figure 194.

Un mur de deux épaisseurs de briques se formera de l'appareil (*fig.* 194), en doublant les files de boutisses et celles des briques en long, mais dans ces dernières les deux files intermédiaires sont remplacées par des briques mises dans le sens de leur largeur. La figure 196 donne 2 rangs de cet appareil.

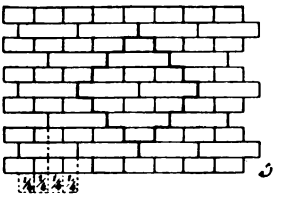


Fig. 197.

Dans l'*appareil* dit *en croix* ou liaison *cruciforme* (*fig.* 197) le parement offre des losanges, des croix ; le liaisonnement est parfait. Cela tient à ce que les ressauts ont une dimension horizontale commune, le quart de la longueur de la brique. On s'en aperçoit facilement en parcourant d'une manière continue une suite de joints horizontaux et verticaux.

Cet appareil se compose des mêmes assises de briques que l'appareil (*fig.* 194), mais le troisième et le quatrième rangs sont reculés d'une demi-brique dans le sens longitudinal du parement.

Pour faire les *têtes* de murs en briques, imaginons que nous

coupons l'appareil (*fig.* 194) par un plan passant par des joints de briques en long. Il y aura des quarts de briques dans l'angle. Or ces quarts ne peuvent avoir ni la netteté, ni la solidité des demis et des entiers de briques. On reculera ces quarts dans leur rangée en les plaçant entre les deux demi-briques précédentes (*fig.* 198 et 199).

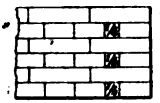


Fig. 198.

Fig. 199.

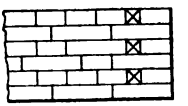


Fig. 200.

Pour l'appareil en croix on peut également terminer les têtes par des entiers et des demis de briques (*fig.* 200). On peut encore remplacer les briques de face par deux demi-briques sur ce parement et un trois-quart sur l'autre, et les demi-briques et quarts sur la face par des trois-quarts sur cette face et demi-briques snr la face en retour (*fig.* 201).

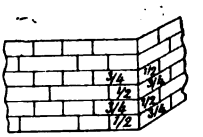


Fig. 201.

Pour consolider des murs de caves en moellon ou en meulière, on fait la tête en briques (*fig.* 202).

Pour les baies intérieures en élévation qui doivent recevoir des portes, on laisse dépasser sur la tête des murs, de chaque côté de

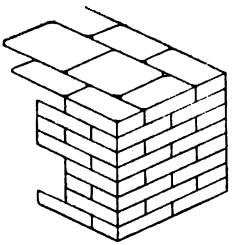


Fig. 202.

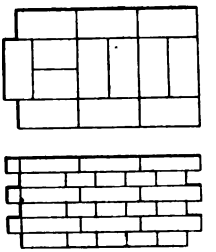


Fig. 203.

la baie, un quart de brique sur le milieu de l'épaisseur du mur, afin de faciliter la pose des *chambranles* et *contre-chambranles* (*fig.* 203).

L'*épaisseur des joints* de mortier ou de plâtre ne doit pas excéder $0^m,013$; elle descend à $0^m,005$ et à $0^m,007$ pour une maçonnerie très bien faite.

Dans la construction des cloisons en briques de champ, au lieu de placer le mortier sur des briques déjà posées, on en

recouvre un lit et un joint de la brique à poser et, en cet état, on la pose en la pressant sur celles déjà posées.

On désigne les murs dont l'épaisseur est égale à la longueur d'une brique ($0^m,22$) sous le nom de *cloisons en briques boutisses* (*fig.* 192). Dans ces cloisons on dispose souvent les briques dans

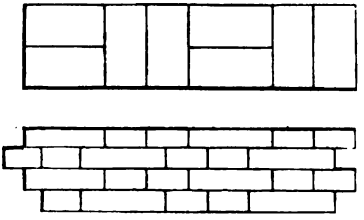


Fig. 204.

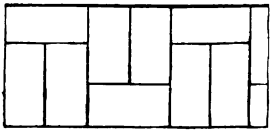


Fig. 205.

chaque assise, comme le montre la figure 204 en élévation et en plan, et l'on place chaque assise de manière que les briques en long croisent les briques en travers de l'assise inférieure, afin qu'il y ait liaison complète dans tous les sens.

Pour obtenir une liaison complète dans les murs dont l'épaisseur ($0^m,35$) est égale à 3 largeurs de briques, soit un mur d'une brique et demie en longueur, on dispose souvent les briques de chaque assise comme l'indique la figure 205, et l'on pose chaque assise de manière que ses joints montants se croisent avec ceux de l'assise inférieure comme dans l'élévation de la figure 204.

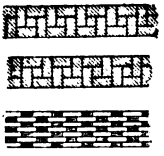


Fig. 206.

On peut encore adopter les systèmes de la figure 206.

Pour les murs dont l'épaisseur est égale à 2 fois la longueur d'une brique ($0^m,46$ à $0^m,48$), on adopte souvent dans chaque assise l'une ou l'autre des dispositions (*fig.* 207 et 208). Dans ces

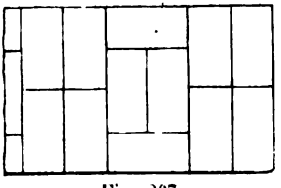


Fig. 207.

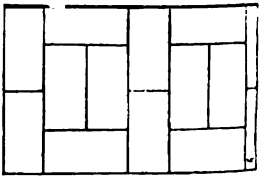


Fig. 208.

arrangements la liaison paraît être moins complète que dans les murs de 3 largeurs de briques ; mais avec un peu d'attention

à bien croiser les joints en superposant les assises, on parvient toujours à bien liaisonner les briques.

Pose des briques. — Avant de poser les briques, le maçon doit les faire tremper dans l'eau; sans cette précaution, elles absorberaient l'eau du mortier ou du plâtre, et leur adhérence avec ces matières serait incomplète. Cela fait, l'ouvrier place la couche de mortier sur laquelle il doit poser les briques, en ayant soin

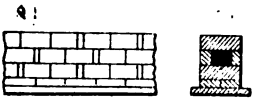


Fig. 209.

Fig. 210.

qu'elle s'arrête à 0m,02 ou 0m,03 de la face du mur, afin qu'en pressant les briques dessus pour les mettre en place, le mortier ne s'échappe pas des joints pour tomber à terre ou barbouiller les parements. On frappe la brique avec la truelle jusqu'à ce qu'elle ait pris une position stable.

L'épaisseur des joints de mortier ou de plâtre ne doit pas excéder 1 centimètre, et même 0m,005 pour une maçonnerie très bien faite. Chaque assise horizontale de briques s'appelle un *tas*.

Dans la construction des cloisons en briques de champ, l'ouvrier, au lieu de placer le mortier sur les briques déjà posées, en recouvre un lit et un joint de la brique qu'il tient à la main, et, en cet état, il la pose en la pressant fortement sur et contre

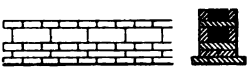


Fig. 211.

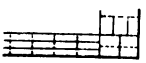


Fig. 212.

les briques déjà posées et avec lesquelles elle doit rester en contact.

Maçonnerie creuse. — En dehors de l'emploi des briques creuses décrites à la page 70, un système, adopté par économie dans certaines maisons de campagne et constructions rurales, est constitué (*fig.* 209) par des briques posées en travers du mur et en briques *barlongues* formant une épaisseur d'environ 0m,27. Cette construction produit de petites cellules ou vides parallélipipédiques d'environ 0m,10 de large sur 0m,11 ou 0m,15 de profondeur. L'autre assise est constituée de même, mais la tête de la brique transversale, en faisant fonction de parpaing, est posée au milieu de la brique barlongue de l'assise inférieure (système Silverlock).

Dans le système M. J.-C. Loudon (murs creux en briques de

0m,33 d'épaisseur), les briques sont posées à plat, et celles formant parpaing de 5 centimètres en retraite sur le parement intérieur du mur (*fig.* 210). Les briques placées en longueur laissent un vide ou creux dans le milieu du mur de 5 centimètres de long. Ces murs, étant toujours secs, laissent moins pénétrer le froid en hiver et la chaleur en été.

Tableau du temps et des quantités de matériaux employés à l'exécution de différents ouvrages en briques

NATURE DES OUVRAGES	HEURES D'UN MAÇON avec son aide	CUBE DE MORTIER ou de plâtre gâché	NOMBRE DE BRIQUES, déchets compris
	heures	mèt. cubes	
1° *Briques modèle de Bourgogne.* Pour 1 mètre carré de cloison dont l'épaisseur est égale à celle de la brique (0m,055).....	0,8	0,016	38
Pour 1 mètre carré de cloison dont l'épaisseur est égale à la largeur de la brique (0m,107).....	1,8	0,03	75
Pour 1 mètre carré de cloison dont l'épaisseur est égale à la longueur de la brique (0m,22).....	3,8	0,05	140
Pour un mètre cube de maçonnerie de briques, au-dessus de 0m,22 d'épaisseur, pour murs de face, de refend, de pignon, etc., y compris échafaudage et montage des matériaux à 7 ou 8 mètres de hauteur.	15,0	0,20	635
Pour 1 mètre cube de même maçonnerie pour voûtes.....	16,0	0,22	640
2° *Briques modèle de Toulouse* (longueur 0m,42, largeur 0m,29, épaisseur 0m,05). Pour 1 mètre cube de maçonnerie, pour murs ou voûtes de 0m,29 d'épaisseur au moins.....	7,5	0,25	145
3° *Briques modèle de Perpignan* (longueur 0m,44, largeur 0m,22, épaisseur 0m,045). Pour 1 mètre cube de maçonnerie de murs ou voûtes de 0m,22 d'épaisseur au moins....	9,0	0,29	190
4° *Briques modèle de Rodez* (longueur 0m,25, largeur 0m,12, épaisseur 0m,055). Pour 1 mètre cube de maçonnerie de murs ou voûtes de 0m,25 d'épaisseur au moins.....	12,5	0,30	495

Le système Dearne consiste à poser une rangée de briques barlongues de chaque côté du mur (de 0m,27 d'épaisseur) laissant ainsi un vide de la hauteur de la brique dans toute la hauteur du mur. L'assise suivante est formée de briques à plat, placées en par-

paings, et montrant en parement leur plus petite face (*fig.* 211 et 212).

Un autre système de murs creux de $0^m,43$ ne demande qu'une petite quantité de briques en plus qu'un mur plein de $0^m,27$. La figure 213 en représente une assise ; la suivante est posée en sens contraire. La figure 214 indique un mur creux de $0^m,30$ d'épaisseur.

Les murs creux conviennent pour les constructions peu élevées et qui ont peu de charge à supporter. Ils sont solides et économiques, mais il faut veiller à ce que les creux ne communiquent pas avec l'intérieur par des trous.

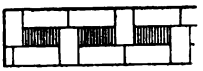


Fig. 213.

Fig. 214.

Selon que les ouvrages détaillés au tableau (p. 462), pour les briques du modèle de Bourgogne, sont exécutés en briques de Montereau ou en briques de pays, les nombres des briques

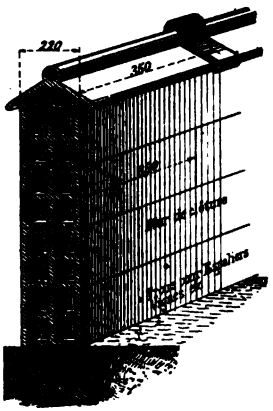


Fig. 215.

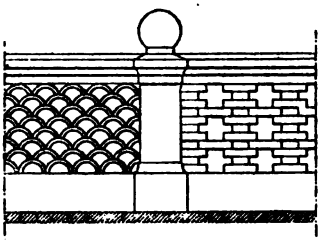


Fig. 216.

employées augmentent d'environ 7 0/0 pour les premières, et de 15 0/0 pour les secondes.

Avec les briques de Vaugirard (façon Bourgogne) (0,06 × 0,11 × 0,22), il en faut 566 au mètre cube et $0^{m3},195$ de plâtre par mètre cube de maçonnerie.

Pour les briques creuses il faut :

Pour celles de 0,045 × 0,15 × 0,22 (547 au m^3) — $0^{m3},220$ de plâtre
— 0,065 × 0,11 × 0,22 (528 au m^3) — $0^{m3},182$ —
— 0,08 × 0,16 × 0,30 (226 au m^3) — $0^{m3},145$ —

Murs en briques-moellons. — La Société des Tuiles isolantes, à Ivry-Port, fabrique des briques-moellons pourvues de côtes sur les faces devant former lits, pour rendre parfaite l'adhérence du mortier. Elles ont $0^m,33 \times 0^m,22 \times 0^m,22$. On les emploie pour murs de clôture et constructions légères ; on peut supprimer les enduits. La figure 215 représente un mur de clôture construit

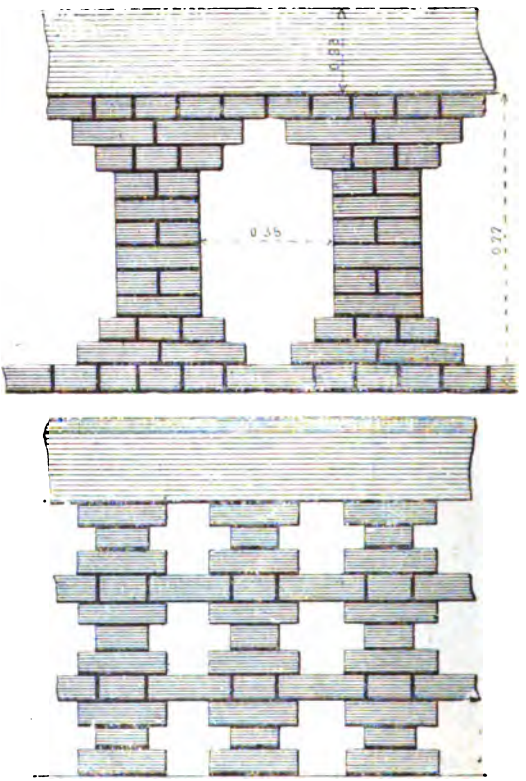


Fig. 217 et 218.

avec ces briques-moellons ; il est couronné d'un chaperon creux mouluré, muni de couvre-joints qui s'emboîtent avec les éléments du chaperon, sans scellements.

Décoration avec des briques. — En combinant des briques ornées de diverses couleurs ou même des briques ordinaires, on exécute des briquetages décoratifs. Ainsi, en superposant les briques et en laissant entre elles des vides, ou bien en établis-

sant alternativement des lignes de briques posées à plat et en diagonale, on construit d'élégantes balustrades (*fig.* 216).

A l'aide de briques on peut faire encore toutes sortes de constructions, des consoles, des bandeaux, des corniches, des souches de cheminées, des couronnements de constructions militaires, etc.

Les figures 217 et 218 représentent des assemblages de briques pour parapets de ponts à jour.

La figure 219 représente une corniche en briques pour constructions à la campagne.

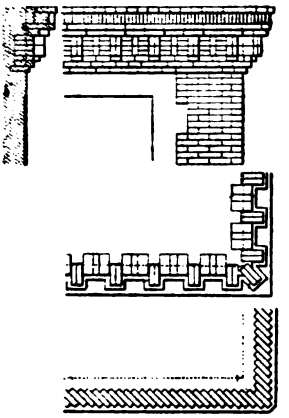


Fig. 219.

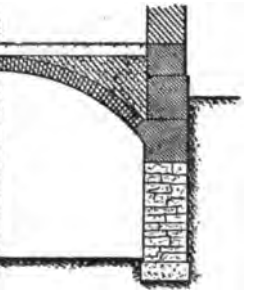


Fig. 220.

La figure 220 montre une voûte en briques de $0^m,22$ d'épaisseur dont les reins sont remplis de béton formant liaison avec les murs.

Maçonnerie mixte en pierre de taille et petits matériaux

On construit souvent des murs dans lesquels on fait entrer à la fois de la pierre de taille et des moellons, meulières, briques, etc. La pierre de taille se dispose par assises horizontales en *bandeaux* ou par chaînes verticales, que l'on élève de distance en distance et principalement aux angles des murs.

Les assises horizontales ne peuvent avoir aucun inconvénient; elles ont l'avantage de relier dans toute leur étendue les maçonneries en petits matériaux sur lesquelles elles reposent.

Quant aux *chaînes* verticales, elles donnent à la maçonnerie plus de stabilité et de résistance aux points où elles se trouvent que dans les parties en petits matériaux hourdés en mortier ordinaire ; mais, d'un autre côté, l'inégalité de tassement, qu'il

est impossible de prévenir, a quelquefois de graves inconvénients. Le tassement est proportionnel à l'épaisseur totale des joints en mortier, laquelle est beaucoup plus grande dans la maçonnerie de petits matériaux que dans celle de pierre de taille, où les joints sont moins épais et moins nombreux.

Les pierres formant ces chaînes (*fig.* 221) s'étendent dans toute l'épaisseur du mur ; on doit les alterner en courtes et longues pierres, en commençant par en poser une longue sur la fondation. La seconde pierre doit être plus courte de 0m,35 à 0m,40 que la première, afin que son *déharpement*, ou saillie, sur celle-ci ne soit pas inférieur à 0m,18 ou 0m,20. La troisième pierre doit être de même longueur que la première, afin de jeter *harpe* sur la deuxième, et ainsi de suite jusqu'à l'arase supérieure du mur, où l'on termine par une pierre longue.

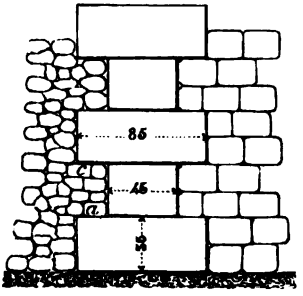


Fig. 221.

On diminue les effets de l'inégalité de tassement des chaînes verticales et des maçonneries de petits matériaux, en plaçant sur les parties *a* des lits supérieurs des pierres saillantes de 0m,03 à 0m,04 d'épaisseur de mortier, fabriqué de manière que sa prise soit plus lente que celle du mortier employé pour le reste de la maçonnerie, puis en posant les moellons ou les meulières sur cette couche de mortier, en ayant soin de ne laisser qu'un petit joint entre ces matériaux et les parties *c* des lits inférieurs des pierres saillantes. S'il se produit un plus grand tassement dans la maçonnerie de petits matériaux que dans les chaînes, au lieu de se faire des déchirures au droit des parties de maçonnerie engagées entre les harpes de chaînes, la couche épaisse de mortier, par le peu de dureté qu'elle a encore acquise, se comprime et permet le mouvement de la maçonnerie. Comme, par suite de cette compression, les joints inférieurs des harpes s'agrandissent, on les remplit de mortier en faisant le rejointoiement des parements.

Lorsqu'on construit des chaînes dans des murs hourdés en plâtre, on ne garnit pas de plâtre les joints qui séparent les chaînes de l'autre maçonnerie, au fur et à mesure qu'on élève la construction ; on évite de faire porter les moellons sur les harpes des chaînes, afin de laisser libre le tassement de la maçonnerie de petits matériaux. Ce n'est que quand tous les tassements se sont produits, qu'on remplit les joints en plâtre noyé ou en mortier de chaux, et qu'on fait les enduits, qui, sans cette précaution, se fendilleraient.

Quand il s'agit de chaînes d'angle, il y a un autre motif qui

engage à ne pas garnir immédiatement de plâtre les joints qui séparent les chaînes des moellons, et à faire ces joints très larges ($0^m,06$ à $0^m,07$) : c'est que le plâtre, en durcissant, produit son effet de gonflement, et que les murs dérangeraient les chaînes en les poussant au vide. C'est ce qui explique l'utilité des joints non remplis qu'on voit dans les pignons des bâtiments qu'on élève, au droit des angles des murs de face ou de dosseret de cheminées.

Pour une épaisseur considérable de murs, on fait souvent les parements seuls et, de distance en distance, des parties formant liaison, en pierre de taille, et le milieu en matériaux de blocage (*fig.* 222).

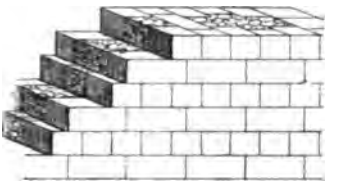


Fig. 222.

La maçonnerie mixte est formée souvent de pierres de taille comme parement ou face extérieure, à l'intérieur de briques, de moellons, de meulières, etc. Il ne peut y avoir autant de joints dans le parement que dans la garniture du dos du mur ; comme plus il y a de joints, plus le tassement est sensible, on élève la maçonnerie de briques en ciment ou en mortier de chaux d'une prise immédiate. Les pierres doivent être dressées carrément, et leur hauteur doit correspondre à un certain nombre d'assises de briques ; sans cela il se produirait des vides, et le mur pourrait s'incliner vers l'intérieur. Les pierres du parement extérieur doivent être d'épaisseurs différentes, afin de faire une liaison convenable avec la brique ou le moellon.

Si l'on élève le derrière d'un mur avec des matériaux plus compressibles que ceux du devant ou du parement, on peut craindre l'irrégularité du tassement. On place les baies les unes sur les autres, dans le même axe.

Soubassements et baies dans la maçonnerie de moellons. — Un mur en moellons ou en briques doit être chaussé d'une assise en pierre de taille (*soubassement*) un peu enterrée et s'élevant au-dessus du sol. On place la pierre la plus résistante à la surface du sol.

Les jambages, les linteaux et les appuis des croisées et des portes se font en pierre de taille, surtout dans les constructions en briques. Les pieds-droits doivent être de plusieurs assises et de pierres d'inégales longueurs, afin qu'ils se relient avec les petits matériaux des trumeaux.

Si l'on emploie les briques pour les angles droits, aux extrémités des constructions, il faut composer les assises de plusieurs briques à plat.

La figure 223 montre la façon de lier du moellonnage avec de la brique. La liaison du moellonnage avec de la pierre de taille se fait de la même manière ; seulement une seule pierre de taille remplace 3 assises d'angles de briques. Le système en briques (*fig.* 202) ne doit être employé que pour élévations faibles et baies; il serait hasardeux de s'en servir pour hauteurs de 4 mètres, le poids pouvant rompre l'extrémité des briques. On y obvie, dans les murs épais, en n'employant point de harpes, mais en montant un écoinçon vertical (*fig.* 223), de chaque côté un peu en saillie sur le mur.

Fig. 223.

L'*opus reticulatum* (*fig.* 224) des Anciens est une maçonnerie

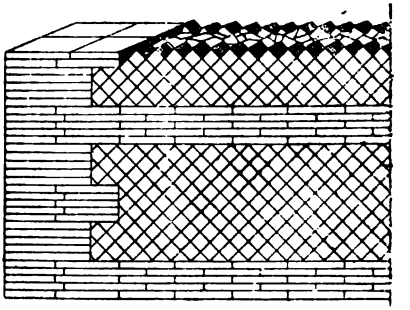


Fig. 224.

Fig. 225.

mixte dont les moellons de parement ont une forme régulière ;

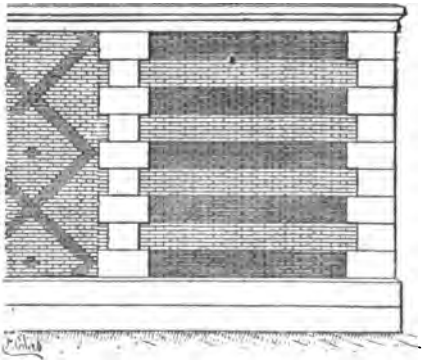


Fig. 226.

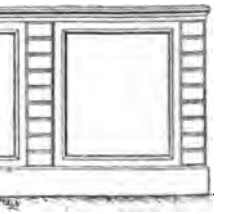


Fig. 227.

la liaison est assurée par des assises en grandes briques ou en moellons plats traversant toute l'épaisseur du mur.

L'*opus incertum* (*fig.* 225) consiste à envelopper une maçonnerie de blocage intérieure par des matériaux de formes irrégulières, mais offrant une face dressée et des joints.

La figure 226 montre une *chaîne d'angle* et une chaîne ordinaire, appelées aussi *jambes* de pierre, reliées par une maçonnerie de briques.

Pour décorer la maçonnerie mixte, on orne souvent les parties exécutées en petits matériaux par des joints ordinaires, s'il s'agit du moellon; par des dessins de formes et couleurs variées, s'il s'agit de briques. Les murs présenteront une surface plane ornée d'*encadrements* à moulures s'il s'agit d'un remplissage en matériaux irréguliers, recouvert d'un enduit (*fig.* 227).

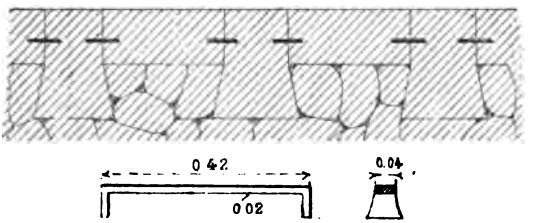


Fig. 228.

Consolidation des maçonneries par des armatures en fer. — On a recours à des crampons en fer pour relier entre elles les

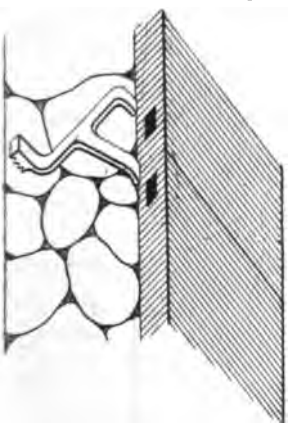


Fig. 229.

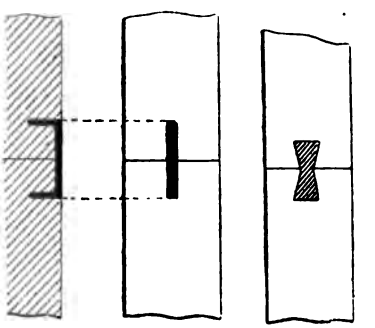


Fig. 230.

pierres de taille accolées dans des cas exceptionnels, quoique les ciments permettent généralement de s'en passer.

La figure 228 représente les crampons en fer employés pour

relier les pierres du pont de Kuilenbourg, sur le Lek (Hollande).

La figure 229 montre un parement formé d'une dalle en pierre dure reliée par crampons en fer.

Comme les déchirements dus au tassement inégal des maçonneries sont fréquents dans les voûtes, on peut relier les deux têtes par des ancres en fer noyées dans la maçonnerie (*fig.* 230).

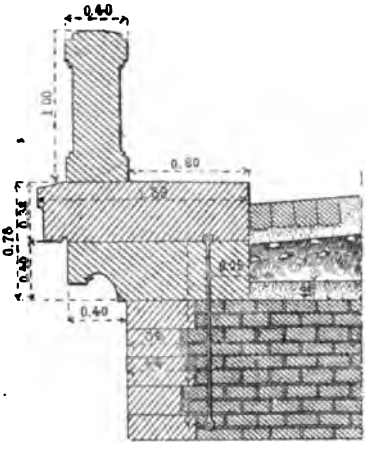


Fig. 231.

La figure 231 donne les boulons en fer de 0m,03 de diamètre et 1m,16 de longueur, terminés par un œil, dont M. Radoult de Lafosse a fait usage au pont de Vichy pour réunir les pierres en encorbellement.

Dans chaque œil passe un fer rond horizontal de 0m,03 de diamètre. Les consoles sont taillées en queue d'aronde.

Les pierres du parapet sont réunies entre elles par des coins en chêne ayant 0m,19 de pénétration, 0m,09 de hauteur et 0m,09 d'épaisseur.

Prix des pierres (voir p. 50) *dures*, roches et liais, fournis par l'entrepreneur (morceaux de 1 mètre cube à 1m3,5, ne dépassant pas 2m,50 de long), rendues au bâtiment, pour assises courantes, appuis, seuils, marches, piles, colonnes, tablettes, parpaings, au-dessus de 0m,10 d'épaisseur, compris transport, taille de lits et joints, bardage, pose et cubage, échafauds et enlèvement des déchets (d'après *l'Annuaire Sageret*) :

	Le mètre cube.
Ancy-le-Franc	215f »
Anstrude (Yonne)	126 »
Arcueil et Villejuif	110 »
Bagneux (Seine), supérieur ou banc franc de 0m,30 à 0m,60 de haut	105 et 125 »
Belvoye et Damparis	169 »
Béthisy-St-Pierre (Oise)	132 »
Boncourt (Meuse)	141 »
Carrière-Saint-Denis, liais jusqu'à 3m,00 de long	144 »
Charentenay (Yonne), banc franc	117 »
Chassignolles (Yonne), roche	132 »
Château-Landon de 1m3,0 et 2m,00 de long	168 »
Châtillon (Seine), roche et banc franc de 0m,30 à 0m,60	102 et 125 »
Chauvigny (Vienne), banc franc	141 »

	Le mètre cube.
Clamart (Seine), liais de 0m,20 à 0m,40, roche de 0m,70 et banc franc de 0m,30 à 0m,60. . . . . 150, 125 et	108f »
Comblanchien (Côte-d'Or), roche de 1m,00 à 2m3,0 et 2m,00 à 3m,00 de long. . . . . 183 et	189 »
Conflans-Sainte-Honorine, banc royal tendre de 0m,40 à 1m,00 de haut	99 »
Corgoloin, jusqu'à 0m3,500 et ne dépassant pas 2m,00 de long.	188 »
— de 0m,500 à 1m3,00 et ne dépassant pas 2m,00 de long.	224 »
— de 1m3,00 à 2m3,00 et ne dépassant pas 2m,00 de long	247 »
Courville (Marne), de 0m,60 à 0m,80.	112 »
Echaillon (Isère), jusqu'à 1m3,50, 2m,50 en long, 2m,00 ou 3m,50 en surface . . . . . 283 et	312 »
Euville (Meuse), roche 2m,50 long et 1m,20 large. 137 et	167 »
Grimault (Yonne), 0m,50 à 1m,50 haut	200 »
Hauteville (Ain).	211 »
Hydrequent (Pas-de-Calais), roche	184 »
Isle-Adam (Seine-et-Oise), 0m,80 à 0m,90 haut	116 »
Larrys (Yonne), liais 0m,40 à 1m,20 haut	131 »
Laversine (Aisne), 0m,75 à 1m,00.	139 »
Lérouville (Meuse).	111 »
Marly-la-Ville (1m,50 de haut).	93 »
Méry (Seine-et-Oise), 0m,35 à 1m,00 de haut.	104 »
Palotte, banc royal.	99 »
Saint-Ylie (Jura).	142 »
Ravières (roche 0m,50 à 1m,20).	123 »
Saint-Maximin (Oise), 0m,45 à 0m,70 haut.	119 »
— roche douce à 0m,35 à 0m,65	92 »
Saint-Quentin, roche 0m.80 à 1m,30	120 »
Souppes, jusqu'à 1m3 et 2m3, et 2m,00 et 3m,00 de long . . . . . 143 et	154 »
Tessancourt	111 »
Villebois (Ain).	154 »
Vitry (Seine), banc de 0m,25 à 0m,35. . . . . 102 et	111 »

Prix des pierres tendres pour libage et vergelé *idem* à ci-dessus, de 0m.10 d'épaisseur, compris travaux préparatoires, etc., *idem :*

	Le mètre cube.
Carrière Saint-Denis.	64f »
Conflans-Sainte-Honorine, 0m.40 à 1m,00 de haut	100 »
Jouy-le-Comte, banc tendre.	81 »
Laigneville (Oise), pierre grasse.	73 »
Longpont (Aisne)	80 »
Méry, 0m,40 à 2m,00 de haut.	70 50
Parmain (Seine-et-Oise), 0m,40 à 1m,00	73 »
Rousseloy (Vergelé).	70 50
Saint-Leu (Oise), 0m,40 à 0m.90 de haut	71 »
Saint-Maximin (Oise), banc tendre 1m,00 de haut. . . .	71 »
Saint-Vaast, Rousseloy, Autrèches et Vassent	71 »

Les pierres dures et liais jusqu'à 0m,10 d'épaisseur au mètre superf. pour *dallage* et *revêtement* et compris 2 parements de sciage, valent de 25 fr. 50 pour celle de Lérouville à 60 fr. 30 pour celle de Corgoloin.

	Le mètre cube.
Pierre, vieille roche, dure, au-dessous de 0m,10, compris transport, bardage, taille des lits et joints, pose et fichage	35f »
Pierre vieille tendre, au-dessous de 0m,10, compris transport, bardage, taille des lits et joints, pose et fichage.	25 »

Prix des maçonneries, etc.

Maçonnerie à façon, moellons hourdés, plâtre fourni, le mètre cube pour massif	9 50
Maçonnerie en plâtras, hourdés plâtre, le mètre cube pour massif	12 »
Maçonnerie en plâtras, légers à façon, le mètre superf.	2 10
Meulière hourdée en plâtre ou mortier de chaux hydraulique pour massifs, le mètre cube	24 70
— pour mur de fondation	28 25
— pour mur en élévation à 10m,00 de haut	29 60
— pour voûtes, compris décintrage	30 80
Moellons piqués, durs de roche de 0m,25 de queue, 0m,25 de long et 0m,18 de haut, le 100	31 »
— vieux de démolition, dans Paris, le mètre cube.	10 »
— neufs, hourdés en plâtre ou mortier pour massif, le mètre cube	22 60
— hourdés en plâtre, pour mur de fondation ou d'élévation, le mètre cube. 28f,15 et	29 55
— pour voûte en berceau, compris décintrement.	30 80
Refente de pierre dure pour en faire du moellon, le mètre cube	7 05
Plâtras[1] fournis, hourdés en plâtre, pour massifs, le mètre cube	17 »
— pour murs de fondations, le mètre cube	18 65
— pour murs en élévation, —	21 05
— pour voûtes, compris cintres, —	21 35
Taille des briques de Bourgogne, le mètre superficiel.	4 20
— dites façon Bourgogne et autres provenances	2 95
Taille de pierre tendre ou vergelé, le mètre superficiel.	2 50
— roche dure et liais de choix	9 50
— roche et liais très dur	12 »
— roche douce et liais demi-dur	6 25
Taille de granit	18 60
Montage de pierre à partir de 1m,00 du sol, le 1er mètre, par mètre cube	1 95
— par chaque mètre de hauteur en plus	0 40
— au treuil et au seau : pour chaque hauteur de 3m,00, compris installation du treuil, le mètre cube	0 65

[1] Le mètre cube de plâtras vaut 7f,50.

		Le mètre cube.
Pose de pierre, mesurée en œuvre pour assises courantes, etc., au-dessus de 0m,10 d'épaisseur, compris fichage et mortier, avec roulage sur le tas, le mètre cube		11f 30
— et bardage à 100 mètres		18 25
— des pierres artificielles jusqu'à 3m,00 de haut		40 »
Parement smillé sur moellon dur ou tendre, le mètre superficiel	1f 85 et	1 40
— sur meulière neuve, le mètre superficiel		4 »
— piqué sur moellon dur ou tendre, le mètre superficiel	3f 10 et	2 70
— sur meulière neuve, au mètre superficiel		14 75
— bouchardé ou rustiqué sur moellon de roche, avec ciselure au pourtour, au mètre superficiel		11 60
— sans ciselure, le mètre superficiel		9 65
— de briques, le mètre superficiel	4f 25 et	5 15
Jointoiement en chaux hydraulique, le mètre superficiel, sur moellon neuf et vieux	0f 60 et	1 20
— sur meulière neuve ou vieille	0 90 et	1 50
— sur brique neuve ou vieille	1 70 et	2 15
— en ciment romain, en plus par mètre que la chaux		0 40
— en mortier de ciment de Portland, sur moellon neuf ou vieux	1f 10 et	2 »
— sur meulière neuve ou vieille	1 45 et	2 30
— sur brique neuve ou vieille	2 70 et	3 50
— en plâtre sur murs neufs ou vieux, compris dégradation des joints	0f 50 et	0 75
Joints en mortier de chaux hydraulique ou ciment romain, le mètre linéaire sur parties lisses (neuves ou vieilles)	0f 34 et	0 50
— sur meulières (neuves ou vieilles)	0 50 et	0 70
Rejointoiements sur vieux murs, compris dégradation des joints, le mètre linéaire		0 20
Refouillement en moellon dur ou franc, à la pioche ou à la masse et au poinçon, le mètre cube	9f 45 et	14 20
— en moellon tendre, à la pioche ou à la masse et au poinçon, le mètre cube	7f 90 et	11 80
— en béton ou en meulière, à la pioche ou à la masse et au poinçon, le mètre cube	13f 85 et	20 75
Rocaillage de parement vif avec mortier en plein, compris dégradation des joints et jointement, le mètre superficiel		4 »
— de joints en meulière concassée et ciment de Portland, le mètre superficiel		1 75
— en plein de 0m,05 d'épaisseur eu meulière		

	concassée et ciment Portland, le mètre superficiel	3f 50
Ravalement à	la ripe sur pierre avec ponçage au grès et joints, sur pierre dure et tendre, le mètre superficiel. . . . . 1f 50 et	1 »

Maçonneries hourdées en mortier de ciment romain

Pour que le mortier de ciment romain employé à hourder les maçonneries fournisse un bon résultat, on doit nettoyer les matériaux à employer, préparer et nettoyer les endroits où l'on va poser de la maçonnerie, en les dégradant, les brossant fortement et les lavant pour faciliter l'adhérence. Ces opérations terminées, on fait gâcher la quantité de ciment nécessaire, et on l'emploie à poser à bain de mortier les moellons ou meulières, qu'on tasse pour les affermir pendant que le mortier est mou. Après la prise du ciment, on doit éviter de tasser les matériaux et de frapper sur les maçonneries exécutées ; car on briserait le mortier. L'ouvrier doit enlever avec la brosse les parcelles de mortier écrasé, les éclats de pierre et autres détritus.

La maçonnerie déjà exécutée, ainsi que les matériaux à employer pour faire la nouvelle, doivent être tenus humides en les arrosant.

Pour certains travaux de restauration, et pour des travaux neufs, on lave les moellons ou meulière, quand ces matériaux sont couverts de terre. Cette opération se fait dans des baquets remplis d'eau, au moyen de brosses de chiendent. Un garçon, dans sa journée de 10 heures, peut laver 2 mètres cubes de meulière terreuse.

Pierres factices en éclats de pierres et de ciment. — La prompte solidification des mortiers de ciment de Vassy permet de fabriquer des pierres factices de différentes formes, à l'aide d'éclats de meulières, de briques ou de toutes pierres très dures, que l'on agglutine avec ces mortiers dans des moules en bois. Des constructions hydrauliques importantes ont été exécutées avec ces pierres faites d'éclats de meulières.

Plusieurs voûtes des égouts de Paris ont été construites en voussoirs de $0^m,13$ à $0^m,15$ d'épaisseur; pour plusieurs égouts même pieds-droits et voûte sont établis en pierres factices de ciment; les pieds-droits et la voûte de l'égout du boulevard du Combat, ainsi construits, n'ont que $0^m,13$ d'épaisseur. Cette galerie, qui a 800 mètres de longueur, 1 mètre de largeur dans œuvre, et 2 mètres sous clef, est ouverte en plusieurs points dans un sol très mouvant; les puits ont 10 à 11 mètres de profondeur et reposent sur des pieds-droits de $0^m,13$ d'épaisseur.

La fabrication et la pose des pierres factices de ciment (*prismes de ciment*) sont soumises aux règles des maçonneries hourdées en

mortier de ciment. On obtient d'excellents résultats lorsqu'on emploie à la fabrication de ces pierres factices des meulières, des briques, des cailloux granitiques, etc., concassés à la grosseur de 0m,06 à 0m,07 au plus; ces petits cailloux, posés et serrés le plus possible dans le mortier de ciment, forment un béton résistant.

Le petit retrait qui se produit parfois, lors de la dessiccation du mortier, doit engager à ne poser autant que possible les pierres factices de ciment que plusieurs jours après leur fabrication, surtout lorsqu'elles doivent être placées extérieurement, pour chaperons de murs, par exemple. On doit faire tremper ces pierres factices dans l'eau, comme les briques, avant de les poser.

Quand ces maçonneries ne sont pas continuellement mouillées, leurs surfaces apparentes s'avarient surtout autour des joints des prismes. On a remédié à cet inconvénient, en disposant le moulage des pierres factices de manière que leur face devant faire parement vu reste brute et rocailleuse. La maçonnerie terminée, on recouvre son parement vu d'un enduit mince de 0m,01 d'épaisseur au plus, en mortier de ciment, que l'on dresse avec le champ de la truelle ou avec la truelle brettée.

Maçonneries de pierrailles et ciment établies au moyen de coffrages ou dressées au cordeau, puis recouvertes d'un enduit mince en ciment. — Lorsque les maçonneries doivent avoir une épaisseur supérieure à 0m,10, on obtient de bons résultats avec des moellonnailles hourdées en mortier de ciment. Les parements sont dressés à l'aide de cordeaux tendus sur des gabarits ; ils sont revêtus d'un enduit en ciment, y adhérant parfaitement.

Cette maçonnerie s'exécute rapidement, et se fait avec des épaisseurs qui sont généralement réduites aux 2/3 de celles qu'on adopterait si l'on faisait usage de mortier de bonne chaux hydraulique. Aussi a-t-on avantage à l'employer pour les conduites d'eau, les aqueducs, les égouts, les fosses, etc.

Lorsque les parements de ces maçonneries peuvent rester bruts, on obtient des résultats satisfaisants, en exécutant ces maçonneries dans des coffrages en bois.

Les épaisseurs de ces maçonneries adoptées par les ingénieurs du Service municipal de la Ville de Paris sont environ les suivantes :

Aqueducs et égouts de moins de 2m,00 de largeur aux naissances, et ayant jusqu'à 2m,50 de hauteur sous clef.	0m,20
Aqueducs et égouts de 2m,00 à 3m,00 de largeur aux naissances et de 2m,50 à 4m,00 de hauteur sous clef. . . .	0m,30
Aqueducs et égouts de 2m,00 à 4m,00 de largeur aux naissances et de 4m,00 à 4m,50 de hauteur sous clef.	0m,35
Aqueducs et égouts de 4m,30 à 6m,00 de largeur aux naissances et de 4m,50 à 5m,50 de hauteur sous clef	0m,40

Temps et quantités de ciment et de sable nécessaires à l'exécution de quelques ouvrages

POUR UN MÈTRE CUBE DE	HEURES DE MAÇON POSEUR	HEURES DE GACHEUR	HEURES DE GARÇON pour le service et pour le lavage des matériaux	KILOGRAMMES DE CIMENT, tare comprise	SABLE TAMISÉ	MORTIER produit par LE MÉLANGE
	heures	heures	heures	kilogr.	m. c.	m. c.
Maçonnerie de meulière brute ordinaire, pour voûtes ou murs de 0m,25 d'épaisseur au moins.	10,0	10,0	15,0	338	0,33	0,47
Maçonnerie de meulière de très petite dimension, de 0mc,002 au maximum, pour reprises de pierre de taille, rocaillages, etc.	30,0	15,0	15,0	432	0,42	0,60
Maçonnerie de prismes en éclats de meulière.	15,0	15,0	20,0	400	0,40	0,56
a. Maçonnerie de pierrailles et mortier composé de 5 parties de sable et 2 parties de ciment, exécutée au cordeau, et d'une épaisseur de 0m,15 à 0m,25.	8,0	8,0	12,0	200	0,45	0,45
b. La maçonnerie précédente, mais d'une épaisseur supérieure à 0m,25.	7,0	7,0	13,0	190	0,43	0,43
Maçonnerie de pierrailles et ciment faite au moyen de coffrages, pour murs de 0m,15 à 0m,25 d'épaisseur.	11,0	11,0	13,0	360	0,36	0,50
Maçonnerie de moellons bruts pour murs ou voûtes de 0m,30 d'épaisseur au moins.	7,5	7,5	7,5	238	0,24	0,33
Maçonnerie de moellons ordinaires ébousinés, pour murs et massifs de 0m,25 d'épaisseur.	10,0	10,0	12,0	300	0,28	0,41
Maçonnerie de pierre de taille, pour pose et fichage au moyen de ciment.	12,0	3,0	20,0	72	0,07	0,10
Maçonnerie de briques, pour murs ou voûtes au-dessus de 0m,22 d'épaisseur.	16,0	8,0	8,0	216	0,21	0,30
Maçonneries de briques, pour cloisons au-dessous de 0m,22 d'épaisseur.	20,0	9,0	11,0	230	0,22	0,32

Excepté pour les maçonneries *a* et *b*, les résultats de ce tableau supposent des mortiers composés de parties égales de ciment et de sable : les quantités de ciment seraient évidemment réduites, si l'on faisait usage de mortiers plus maigres.

Maçonnerie de pisé

Terre convenable à la fabrication du pisé. — La terre argileuse, ou *terre franche*, un peu graveleuse, est la meilleure.

L'argile et le sable seuls ne peuvent convenir, mais en les mélangeant et en y ajoutant 1/3 de terre franche, on peut obtenir du bon pisé.

Lorsqu'on a une terre sablonneuse sans argile, on l'arrose avec un lait de chaux ; lorsqu'on n'a que peu d'argile et beaucoup de terre sablonneuse, on fait une bouillie d'argile et on en arrose la terre faible ; ces mélanges donnent aux terres un liant qui les rend utilisables.

Préparation et essai de la terre. — Pour préparer la terre, il faut l'écraser et la faire passer au travers d'une claie. Si la terre est trop sèche, on la mouille.

Pour essayer une terre, on fait un moule en bois de $0^m,50$ d'arête, un peu plus large du haut que du bas, et l'on y tasse de la terre par couches de $0^m,10$. Lorsque le moule est rempli, on le couvre de planches et on le met à l'abri ; au bout d'une semaine, la terre a fait retraite, on la sort du moule. Quelques mois après, on examine si sa consistance a augmenté ou diminué, et de cet examen résulte l'emploi ou le rejet de la terre.

Exécution de la maçonnerie de pisé. — Quand la terre est préparée, on la comprime dans un moule formé de deux parois latérales en planches. Des cadres formés de traverses et de montants en bois maintiennent ces parois à une distance égale à l'épaisseur qu'on veut donner au mur.

L'encaissement a de 3 mètres à $3^m,50$ en long, de $0^m,90$ à 1 mètre en hauteur, et de $0^m,50$ à $0^m,60$ en largeur. Les parois de l'encaissement se nomment *banches*.

Le pilon ou *pisoir* servant à comprimer la terre est une masse de bois qui a : hauteur, $0^m,27$; base supérieure, cercle de $0^m,108$ de diamètre ; section à $0^m,11$ au-dessous de cette base, rectangle de $0^m,162$ sur $0^m,135$. A partir de cette section, qui se raccorde avec la base supérieure circulaire par des adoucissements, le bas de la masse prend la forme d'un coin dont les deux faces sont taillées suivant des courbes allongées se raccordant inférieurement pour un arrondissement de $0^m,027$ de diamètre formant la base inférieure du pilon. La partie inférieure et méplate du pisoir, de laquelle l'ouvrier frappe la terre, est la plus essentielle ; elle doit être bien unie et lisse. On fait cet instrument en bois dur et liant, tel que racines de frêne, d'orme, de noyer. Sa hauteur est de $1^m,33$, y compris le manche, qui a $0^m,033$ de diamètre par le haut et $0^m,027$ au point où il pénètre dans le centre de la base supérieure du pilon. On fait usage du pisoir en le tournant à chaque coup, de manière à croiser les traces qu'il imprime sur

la couche de terre, et à la massiver également dans toute son étendue. Le pisoir a quelquefois la forme d'un cône tronqué.

Les banches étant bien ajustées et leurs parois inférieures placées dans les parements du mur, on étale sur le fond de l'encaissement, après l'avoir nettoyé et légèrement arrosé, une première couche de terre de $0^m,10$ d'épaisseur uniforme, et à l'aide du pisoir on la bat ou massive jusqu'à ce que son épaisseur soit réduite à $0^m,05$ ou $0^m,06$, moitié à peu près de l'épaisseur primitive. Cette première couche comprimée, on en ajoute une seconde égale à la première ; on l'étale et la comprime de même, et l'on continue ainsi jusqu'à ce que l'encaissement soit rempli.

Lorsqu'on commence un mur, pour former la première banchée, on met à l'une des extrémités de l'encaissement une paroi en planches maintenue par un ou deux sergents de menuisier. L'autre extrémité de la banchée, du côté où l'encaissement n'a pas de fond, s'incline à 60°, pour faciliter sa liaison avec la banchée suivante.

La première banchée finie, on fait sauter les coins, on démonte l'encaissement, on retire les traverses, et l'on remonte cet encaissement à la suite de son premier emplacement, mais de manière que les banches recouvrent les faces latérales de la partie inclinée de la première banchée. On fait alors la seconde banchée comme la première, et l'on continue ainsi pour toute l'assise, que l'on termine en replaçant la paroi qui ferme l'extrémité de l'encaissement.

On construit les autres assises de banchées comme la première ; mais en les commençant à l'extrémité où l'on vient de finir l'assise immédiatement inférieure, afin que les joints des banchées soient inclinées en sens contraire dans deux assises en contact. On évite que deux joints montants, quoique inclinés, se correspondent dans deux assises voisines de banchées. En serrant de plus en plus les coins des traverses, à mesure que la construction s'élève, on donne un fruit de 7 à 8 millimètres par mètre de hauteur pour chaque parement. Les trous laissés dans le mur par suite de l'enlèvement des traverses se remplissent avec de la terre.

Quand la terre est à pied-d'œuvre, deux ouvriers font 8 à 9 mètres cubes de maçonnerie de pisé en 12 heures.

Les jambages des portes et croisées ne se font généralement pas en pisé ; on les fait en pierre de taille, en moellons, en briques ou en plâtre. Quant aux linteaux, ils se font ordinairement en bois ; on les pose dans l'encaissement en faisant le pisé. Ils peuvent aussi être faits en pierres de taille, en briques ou en moellons.

Conservation et consolidation des constructions en pisé. — Lorsque les murs en pisé sont achevés, il faut, avant de les recou-

vrir d'un enduit, en plâtre ou en mortier, les laisser sécher. Dans un pays tempéré, tel que le Rhône, des murs en pisé de $0^m,49$ à $5^m,54$, achevés en mai, étaient assez secs en septembre pour être recouverts d'un enduit; ceux achevés en juillet et août peuvent être enduits avant l'hiver; ceux finis plus tard exigent au moins 6 mois de dessiccation. Le vernis ne doit pas être appliqué dans les temps humides ou pluvieux.

Le pisé fait pendant les grandes chaleurs est bientôt sec à l'extérieur; mais l'humidité se conserve au centre, d'où elle se porte peu à peu à la surface, dont elle sépare par grandes pièces l'enduit fait trop tôt. Il faut laisser le pisé quelque temps à l'air quand il a été bien fait (soit au moins un an), parce que, plus il est sec, mieux l'enduit s'y attache.

On augmente la consistance du pisé, lorsqu'au lieu d'eau pure pour humecter la terre, on emploie un lait de chaux.

Les enduits sur le pisé se font en chaux et sable, ou en plâtre, ou en blanc en bourre. Un enduit formé de 1 partie de chaux pour 4 d'argile, et d'une quantité de bourre suffisante pour en parsemer toute la masse, rend le pisé convenable pour résister à l'air et à la pluie.

Ces enduits tiennent bien lorsqu'on a piqueté la surface du pisé bien sec, et qu'on l'humecte légèrement. Ils peuvent être un crépissage ou un rustiquage, ou un véritable enduit à une ou deux couches, que l'on supprime pour lisser alors les murs et les blanchir à la chaux.

Pendant la dessiccation du pisé, comme après son achèvement, le pisé doit être défendu contre les eaux pluviales, d'abord par des planches dont on le recouvre, et ensuite par une toiture.

Pour les maisons et les murs de clôture, une fondation en maçonnerie de moellons, de $0^m,25$ à $0^m,60$ au-dessus du sol, empêche l'humidité de celui-ci de détruire la cohésion du pisé.

Les murs de clôture en pisé sont recouverts d'un toit en chaume faisant saillie de $0^m,12$ à $0^m,15$ sur les parements. On maintient ce toit en le chargeant d'une espèce de chaperon en terre, que l'on renouvelle.

Pour des maisons en pisé à plusieurs étages, on rend les murs solidaires au moyen de pièces de bois de faible équarrissage, reliées et posées à plat dans les murs de refend et de face. Quelquefois, on construit les angles en moellons; mais le tassement inégal des différentes parties de la construction est une cause de destruction. On pourrait augmenter la solidité du pisé, en plaçant dans l'intérieur des murs, à diverses hauteurs, des lattes ou des verges disposées horizontalement dans le sens longitudinal.

Constructions en pisé. — Dans les départements de l'Ain, du Rhône et de l'Isère, on construit en pisé des maisons à plusieurs étages. Le pisé est applicable à presque toutes les constructions

rurales ; il est incombustible, mauvais conducteur de la chaleur, et très économique. Il convient pour les murs de clôture.

On fait aussi du pisé de chaux et de sable additionné de briques, de tuileaux pilés, de cendres de forge, de pouzzolane ou de ciment, la tout fortement pilonné dans des moules. On peut composer ce pisé de 5 à 7 de sable, 1 de terre cuite et 1 de chaux en pâte. Si l'on veut une prise plus rapide et une dureté plus grande, on prend :

Sable.	5 ou	6 parties
Terre cuite..		1 —
Chaux en pâte.		1 —
Ciment.	1/4 ou	1/3 —

On peut confectionner de cette façon des blocs de pierre factice de forme parallélipipédique, qu'on maçonne ensuite comme les pierres de taille ordinaires.

Bauge ou torchis. — On désigne ainsi un pisé formé de *terre franche*, humectée, gâchée avec du foin ou de la paille et que l'on pose dans l'emplacement du mur, à l'aide d'une fourche ordinaire et qui sert à dresser les parements, dont la position est fixée par des cordeaux tendus.

La bauge ou torchis se pose par couches horizontales, qu'on laisse se raffermir avant de poser les couches supérieures, tout en les rafraîchissant un peu pour qu'elles se relient avec les nouvelles. On lisse les parois des murs avec la truelle, et, quand la bauge est sèche, on y applique un enduit en plâtre, ou en chaux et sable.

On emploie la paille et le foin dans leur longueur ou hachés à $0^m,10$ ou $0^m,15$ de longueur.

La bauge ne peut être employée que pour des murs de clôture ou des parois de bâtiments légers peu élevés. Elle a peu de solidité et est très hygrométrique. Pour assurer un peu de durée aux murs en bauge, il faut les faire reposer sur une fondation en pierre s'élevant au moins à $0^m,25$ au-dessus du sol et les abriter de la pluie par un toit ou un chaperon.

On se sert de bauge pour boucher les interstices entre les parois en *colombages* des constructions, et pour charger les planchers auxquels on veut donner un peu d'épaisseur, afin de les rendre impénétrables, soit aux émanations gazeuses, soit aux variations de température.

Un premier mode consiste à prendre des *bardeaux* ou bourrelets en bois d'une longueur supérieure à l'écartement des solives du plancher, à les entourer d'un lien fait en bauge composée de foin brisé, mais non haché ; on en forme ainsi des quenouilles, qu'on accole les unes aux autres pour remplir les intervalles des solives.

Le second mode consiste à placer les bardeaux nus à côté les

uns des autres, et à les couvrir d'une couche de bauge, qu'on égalise par dessus. On donnerait moins d'épaisseur au plancher en clouant des tasseaux sur les côtés des solives, et en faisant reposer les extrémités des bardeaux ou des quenouilles sur ces tasseaux. Aussitôt que la bauge est un peu séchée, on la bat pour boucher les fissures qui se forment pendant la dessiccation, puis on applique dessus une couche de $0^m,05$ en nouvelle bauge, dont le foin est haché très fin ; on bat plusieurs fois cette nouvelle couche au fur et à mesure qu'elle se dessèche, pour empêcher les fentes ; on obtient ainsi une aire en terre suffisante pour locaux destinés aux fourrages. Si l'on devait carreler ou planchéier, cette seconde couche serait inutile, surtout lorsque les bardeaux sont placés entre les solives; il suffirait de remplir les vides entre celles-ci.

Les constructions en bauge ou torchis se rencontrent dans les départements de la Somme, de l'Oise, de l'Aisne et de la Marne.

Pisé en béton. — Des bétons économiques Coignet ont été utilisés de la même manière que le pisé ordinaire en terre.

Le béton dit *économique* est composé, en volume, de:

Chaux non délitée	9 parties
Terre argileuse crue	27 —
Sable et gravier	64 —
Pour	100 parties

Ce béton n'est utilisable que dans les lieux non exposés à une humidité prolongée.

Dans un second béton, dit *dur*, la terre crue est remplacée par des matières calcinées jouant le rôle de pouzzolanes artificielles. Il se compose, en volume, de :

Chaux grasse ou hydraulique non délitée	13 parties
Cendres de houille pilées	9 —
Terre argileuse cuite et pilée	8 —
Sable et gravier	70 —
Pour	100 parties

Bétons agglomérés (voir p. 429).

Enduits en mortiers hydrauliques

Préparation des surfaces pour l'application des enduits. — Lorsque l'enduit doit être appliqué sur une maçonnerie neuve hourdée en mortier de chaux, si les parements sont assez bruts pour présenter des aspérités pour retenir l'enduit, l'ouvrier dégrade légèrement les joints de même si l'enduit est en mortier de chaux, et jusqu'à la profondeur de 2 à 3 centimètres ou s'il est en mortier de ciment, afin qu'on puisse tous les garnir d'un rocail-

lage, surtout si la maçonnerie est en moellons. Ce dégradage fait, l'ouvrier brosse et mouille les parements pour augmenter l'adhérence de l'enduit.

S'il s'agit d'une vieille construction, dont les parements sont trop unis et couverts de matières nuisibles à l'adhérence du mortier, et que la maçonnerie soit hourdée en plâtre ou en mortier de terre, on dégrade les joints profondément et carrément, puis on pique à la pioche, afin de priver les parements des parties altérées et d'y faire des aspérités. On nettoie les parements en les frottant à sec avec des balais durs, et en les lavant à l'eau au moyen de brosses ou de balais.

On nettoie bien les parements lorsqu'il y a possibilité de projeter de l'eau dessus avec une pompe foulante.

Pour les constructions au-dessous du sol (aqueducs, égouts, citernes, etc.), les enduits n'ayant pas à résister à l'action variable et desséchante de l'air, on peut réduire leur épaisseur. Après le piquage et le nettoyage à la brosse ou au balai des parois qui doivent recevoir l'enduit, on mouille ces parois. On remplit les creux et les joints avec un mortier de gros sable, en ayant soin que ce dégrossissage ne fasse pas épaisseur sur les parties les plus saillantes des parois. Au moyen de la taloche, on pose un enduit de $0^{m},01$ d'épaisseur au plus, qu'on dresse en ayant soin de ne pas ramollir le mortier quand il a commencé sa prise. On lisse légèrement l'enduit avec la truelle de maçon, puis on termine en faisant disparaître les balèvres et les coups de truelle au moyen d'un pinceau de crin mouillé, qu'on passe dessus.

On obtient ainsi des surfaces nettes, propres et d'un nettoyage facile. Les parois intérieures des aqueducs et égouts de Paris sont revêtus d'un semblable enduit.

On ne doit jamais faire les enduits minces avec du mortier de ciment pur; le mortier préférable est composé de parties égales de ciment et de sable.

Pose des enduits en mortier de chaux. — Le dégradage et le lavage des parements étant terminés, on commence par remplir les plus grands joints avec un rocaillage fait comme il a été indiqué page 455; puis on procède, en opérant comme il suit, à la pose du mortier. Si le parement est vertical, l'ouvrier jette dessus chaque truellée de mortier qu'il prend dans l'auge; ce coup de truelle doit être donné de manière qu'en prenant le mortier la palette de la truelle soit horizontale, et qu'elle se trouve presque parallèle au parement du mur lorsque le mortier la quitte.

L'ouvrier, en appliquant le mortier, en couvre d'une couche grossièrement dressée une partie du mur; il doit éviter de jeter plusieurs truellées les unes sur les autres. Cette première partie couverte, on laisse un peu raffermir le mortier, en couvrant une partie voisine; alors on applique une deuxième couche d'un mor-

tier plus fin, en la dressant avec le plat de la truelle, qu'on repasse pour fermer les fissures qui se forment.

Les enduits en mortier de chaux sont difficiles à appliquer sur des plans en dessous, ou sur des intrados de voûtes; il faut éviter de jeter de suite plusieurs truellées de mortier l'une sur l'autre; on doit parsemer les truellées çà et là, et ne revenir jeter de nouveau mortier sur les premières truellées, ou auprès, que lorsqu'elles ont acquis une certaine fermeté.

Les chapes de voûtes et les enduits de radiers doivent être posés d'une seule couche, dressée au fur et à mesure de la pose.

Pose des enduits en mortier de ciment. — Lorsque les parements sont préparés et que le rocaillage des joints est terminé, l'ouvrier projette son mortier sur le mur de la même manière que le mortier de chaux; comme la prise du ciment est prompte, il doit faire vite cette opération. L'enduit se fait d'une seule couche et on le dresse au fur et à mesure de la pose, en enlevant le mortier avec le champ de truelle pour régulariser l'épaisseur; le mortier ramassé ainsi se rejette sur la partie molle de l'enduit, jusqu'à ce que cette partie soit privée d'arrachements, qu'elle soit pleine et bien dressée.

Les joints de raccordement et les soudures des parties d'enduit formées par les différentes gâchées doivent être taillés en biseau allongé et rendus raboteux, en les crépissant avec le champ de la truelle, avant la prise du mortier, afin d'augmenter la surface de la soudure et de faciliter l'adhérence. Avant d'appliquer du nouveau mortier sur ces joints biseautés, on doit les mouiller et les couvrir avec les premières truellées de la gâchée, afin que le mortier frais pénètre dans les petites cavités.

Pour les enduits des parements verticaux, les joints de soudure doivent être inclinés à l'horizon, dans le sens de leur longueur. La figure 232 montre de face et latéralement la disposition adoptée; par là, en posant le mortier des gâchées A, A, ce mortier tend par son poids à presser et à s'appliquer sur le joint de soudure CD de la partie d'enduit déjà faite, et il facilite et augmente l'adhérence. On augmente l'effet de cette disposition en ramenant toujours dans le sens AB, sur le joint CD, le mortier des gâchées A, A; on diminuerait l'adhérence si, en dressant l'enduit, on tirait le mortier dans le sens BA.

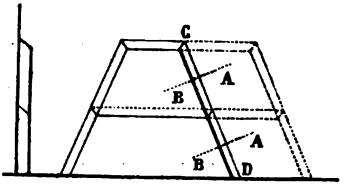


Fig. 232.

Les enduits soignés, recouvrant des maçonneries apparentes, doivent d'abord être dégrossis avec le champ de la truelle,

puis on les dresse à la règle au moyen de la truelle brettée. On ne doit faire usage de cet outil que quand la prise du mortier est complète; sans quoi on ébranlerait le mortier, on arracherait les grains de sable qui le composent, et l'on n'obtiendrait qu'une surface raboteuse, tout en nuisant à la solidité de l'enduit.

On doit tenir la surface sur laquelle on applique le mortier de ciment dans un état d'humidité. Le mortier maigre, composé de 3 parties de sable et 2 parties de ciment, donne d'excellents résultats.

Au fur et à mesure de l'exécution de l'enduit, l'ouvrier doit le mouiller; la dessiccation du mortier se fera plus lentement et l'on évitera les gerçures.

Enduits en mortiers bâtards. — Ces enduits se font comme ceux en mortier de chaux ; ils ont l'avantage de durcir promptement, et leur imperméabilité augmente avec leur proportion de ciment.

Temps nécessaire à l'exécution de 1 mètre carré de parement en enduits hydrauliques. — Les nombres relatifs à la pose augmentent de 1/8 par centimètre d'épaisseur d'enduit en plus des trois premiers; ils augmentent de 1/5 quand les enduits sont appliqués sur l'intrados des voûtes, et ils peuvent diminuer de 1/4 quand ils sont faits sur des plans horizontaux ou en chapes de voûtes.

DÉSIGNATION DES ENDUITS	HEURES DE	
	MAÇON	GARÇON
	heures	heures
Préparation des parements de maçonneries neuves, en moellons ou en meulière, hourdée en mortier.	»	1,0
Préparation des parements de vieilles maçonneries ou de maçonneries neuves, hourdées en plâtre..	»	1,8
Pose et dressage à la truelle d'enduits en mortier de chaux de 0m,02 à 0m,03 d'épaisseur sur parements verticaux.....	1,3	1,3
Pose et dressage à la truelle d'enduits en mortier de ciment de 0m,02 à 0m,03 d'épaisseur sur parements verticaux (1h,2 de gâcheur).....	1,8	0,9
Pose et dressage soigné à la truelle brettée d'enduits en mortier de ciment de 0m,03 (1h,2 de gâcheur).....	3,0	0,8
Nettoyage, piquage, dégrossissage, pose et dressage à la taloche et au pinceau d'un enduit mince en ciment, sur voûtes ou parois verticales.....	1,0	1,0

Rejointoiements

Rejointoiements en mortier de chaux ou de ciment. — Le rejointoiement s'opère en creusant les joints avec un crochet jusqu'à 2 et 3 centimètres et en les remplissant de mortier. On donne à la

surface vue des joints différentes formes. Pour les maçonneries de pierres de taille, de moellons piqués ou de briques, cette surface est plane et affleure le parement du mur, comme l'indique le *joint a* (*fig.* 233). Lorsque ces joints doivent être soignés, on les trace, en se guidant avec une règle, au moyen d'un outil appelé *tire-joints;* c'est (*fig.* 234) une tige en fer, de $0^m,005$ à $0^m,006$ de largeur et $0^m,25$ de longueur, garnie d'un manche en bois; on presse la partie arrondie de cette tige sur le mortier, et l'on frotte jusqu'à ce que le joint soit noirci dans toute la largeur de l'outil. Lorsque les joints sont en mortier de chaux, on fait aussi plats les joints des maçonneries de briques, en ayant soin de ne pas couvrir de mortier les faces de ces dernières.

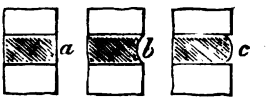


Fig. 233.

Les joints des parements des maçonneries de moellons ou de meulières bruts ou smillés se font quelquefois plats ou creux, *joint b;* mais le plus souvent, on les fait en boudin, *joint c;* avec cette dernière forme ils résistent beaucoup mieux à l'action de l'atmosphère et de la gelée, et, de plus, le dégagement des arêtes des matériaux donne aux parements un aspect agréable et solide; c'est ainsi que presque toujours on rejointoie les parements des murs de quais, de canaux, d'égouts, etc.

Fig. 234.

Avant de remplir les joints de mortier, ils doivent être dégradés et nettoyés avec une brosse dure et un balai, afin que le mortier adhère parfaitement aux matériaux. Si l'on fait usage de mortier de chaux, on fiche les joints, c'est-à-dire qu'on les remplit de mortier avec la truelle, et on les presse fortement. Le maçon doit éviter de jeter du mortier sur les faces des matériaux.

Quand on emploie le ciment romain pour faire des joints, comme le mortier durcit promptement, on lisse les joints au fur et à mesure de leur remplissage ; il est préférable de couper les joints avec le champ de la truelle, comme on le fait pour les enduits en mortier de ciment, et, si le mur est apparent, on peut, avec la truelle brettée, dresser la surface des joints suivant le plan des moellons et des pierres de taille; on contourne les pierres avec le côté tranchant du tire-joints, en évitant de frotter sur le fond des joints.

Temps nécessaire à un maçon et à son aide pour exécuter différents rejointoiements, y compris le dégradage et le nettoyage

DÉSIGNATION DES REJOINTOIEMENTS	DURÉE
	heures
Par mètre courant de joint en mortier de chaux ou de ciment sur maçonnerie neuve de pierre de taille.....	0,2
Par mètre courant de joint sur vieille maçonnerie, jusqu'à 0m,04 de largeur de joint.....	0,3
Par mètre courant de joint sur vieille maçonnerie, de 0m,04 à 0m,08 de largeur.....	0,7
Par mètre carré de parement de maçonnerie neuve en moellons piqués, rejointoiement soigné et passé au fer..	1,5
Par mètre carré de parement en moellons ou meulières smillés, joints creux ou en boudin	0,9
Par mètre carré de parement en briques, rejointoiement soigné.....	1,0

CHAPITRE VII

OUVRAGES GÉNÉRAUX, EXÉCUTION ET RÈGLES POUR EN DÉTERMINER LES DIMENSIONS THÉORIQUES

Tracé. — Implantation

Pour implanter un bâtiment, l'alignement principal étant déterminé, ainsi que la cote de nivellement, on procède au tracé des fouilles de fondations, sur le terrain, à l'aide de *cordeaux* retenus par des *piquets* et placés dans la direction des murs, d'après les indications des plans. Ces cordeaux donnent les limites de la fouille et guident pour les fondations. Quand ces dernières sont arrivées à la hauteur du sol, on dresse (*fig.* 235), à l'extrémité de chaque mur, et au milieu de son épaisseur, une perche verticale; sur chacune de ces perches on fixe horizontalement les *broches b* (planches minces), sur lesquelles, après y avoir indiqué par des entailles les directions et les épaisseurs des murs, on tend les lignes *a* qui doivent servir à élever les murs d'aplomb et à dresser leurs parements.

Pour dresser avec facilité le parement d'un mur, il doit se trouver une ligne à 0m,25 au-dessus du sol, ou de l'échafaud sur lequel l'ouvrier travaille, et une autre à 1m,25 au-dessus de la première; ces positions, en gênant peu la pose des matériaux, permettent de vérifier, et d'une manière continue, si le parement ne gauchit pas, c'est-à-dire si les matériaux qu'on pose pour le former sont placés à une distance uniforme du plan des

lignes. Cette distance, qui est celle du parement au plan des lignes, est de 1 centimètre pour les maçonneries brutes destinées à recevoir un enduit et de 5 millimètres pour les parements soignés. On doit tenir compte de cette distance en fixant les lignes sur les broches; pour un mur brut de $0^m,50$.

On change les broches et, par suite, les lignes de place à chaque étage de l'échafaud. On doit relever avec soin les aplombs ou les talus des lignes inférieures, afin de continuer les parements dans le même plan.

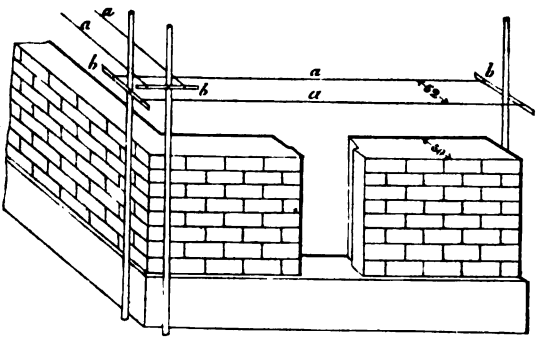


Fig. 235.

Les perches sur lesquelles on fixe les broches n'ont quelquefois pas assez de hauteur pour atteindre le dessus de la construction. On remédie à cet inconvénient en en posant de nouvelles à un niveau supérieur ; on les fixe aux extrémités des murs, ou on les pose sur des chevillettes sur lesquelles on les scelle au moyen de patins en plâtre.

Quand il y a des baies de portes ou de croisées indiquées sur le plan, on doit les tracer sur l'épaisseur des murs, dès que ceux-ci sont arasés au niveau du sol du rez-de-chaussée, ou à ceux des planchers supérieurs; comme les allèges des croisées ont moins d'épaisseur que les murs, on ne les construit que quand on pose les appuis.

Fruit. — Malgré la retraite ordinaire des parements extérieurs des murs à chaque étage d'un bâtiment, on leur donne encore une légère inclinaison ou fruit de $0^m,002$ par mètre de hauteur, le parement intérieur restant vertical. Cette précaution est importante quand les maçonneries sont hourdées en plâtre ; pour l'avoir négligée, il est souvent arrivé que des murs, quoique montés d'aplomb, se sont trouvés en surplomb quand ils ont été terminés.

Fondations

Classification des terrains. — Lorsque le sol est formé, jusqu'à une certaine profondeur, de terres végétales qui ont été remuées, ou de matières rapportées, comme il n'offre pas assez de résistance pour supporter sans affaissement les constructions à ériger, on est obligé de les déblayer, et de descendre la fouille jusqu'à ce qu'on ait atteint une couche de terrain qui présente une compacité et une résistance suffisantes. Il arrive souvent que la couche solide se trouve à une profondeur telle qu'on doit renoncer à l'atteindre par les fouilles et à y asseoir directement les fondations; alors on doit consolider les terrains par des pilotis, radiers en béton, etc.

Sous le rapport de la stabilité, on peut classer les terrains en *trois classes principales :*

La *première classe* renferme les terrains les plus favorables, sur lesquels on peut établir directement les fondations : tels sont les diverses espèces de rocs, les tufs, les marnes compactes et les terrains pierreux qu'on ne peut attaquer qu'à la mine ou au pic. Il faut toutefois que ces terrains offrent une certaine épaisseur, variable suivant l'importance des constructions. On assoiera un édifice sur le roc ayant 3 mètres d'épaisseur, après s'être assuré que ce roc ne renferme pas de cavités qu'il faudrait combler.

La *deuxième classe* comprend les terrains graveleux et sablonneux, qui ont la propriété d'être incompressibles lorsqu'ils sont encaissés.

On pourra fonder directement dessus quand ils auront 2, 4 ou 6 mètres, suivant l'importance de la construction.

La *troisième classe* renferme les terrains sur lesquels on ne peut fonder directement en aucun cas; il est difficile de consolider et de leur donner une résistance uniforme suffisante. Les terrains mouvants, comme le sont ceux qui sont glaiseux, et les terrains compressibles, tels que ceux qui sont tourbeux ou fraichement rapportés, appartiennent à cette espèce, de même que les remblais (même après un siècle), les sables boulants (imprégnés d'eau), les terrains marécageux, etc.

Sur les argiles, glaises et marnes, on peut établir directement des fondations, quand l'épaisseur de la couche s'élève de $2^m,50$ à 3 mètres, mais à la condition de reposer sur un terrain absolument sec, afin d'éviter les glissements.

Équilibre du terrain. — *Formule de Rankine.* — Cette formule exprime la plus forte charge que l'on peut imposer à un terrain dont on connaît la densité et l'angle du frottement :

$$P = dH \frac{1 + \sin^2 \varphi}{(1 - \sin \varphi)^2}.$$

P, charge par mètre carré ;

H, profondeur des fondations au-dessous du niveau du sol;
d, poids du mètre cube de terre ;
φ, angle de frottement du terrain.

Dans l'application la résultante des charges qui agissent sur un mur de fondation doit se rapprocher du centre de gravité de la surface d'appui. La distance δ, du point de passage de cette résultante à travers le plan de fondation, au centre de gravité de la base d'appui, ne doit pas excéder le 1/6 de la largeur totale du joint.

Le rapport entre la distance du centre de pression au centre de gravité de la base d'appui et la largeur du joint dépend de la nature du terrain, par conséquent de l'angle φ de frottement du terrain. Ce rapport a pour limite supérieure la valeur suivante :

$$\delta = \frac{\sin \varphi}{3\,(1 + \sin^2 \varphi)}.$$

L'inclinaison φ varie suivant l'état des terrains. On admet les limites suivantes :

Terre ordinaire	15° à 45°
Argile mouillée	17° à 20°
Argile humide	45°
Sable sec ou argile et terre mêlés	21° à 37°
Cailloux et graviers	39° à 48°
Terrains très tassés	60°

Pratiquement, on peut admettre les charges de sécurité suivantes par centimètre carré :

Terres très fluentes	0kg,270
— boulantes	0 ,500
— moyennes	1 ,250
Bon terrain (gravier ou sable)	4 kg. à 4 ,500
Terrain très consistant	24 ,500

Soit (*fig.* 236) un terrain présentant un talus AB, tel que, sous l'action de son propre poids, il se maintienne en équilibre. Si l'inclinaison avec l'horizon augmente, il arrivera un moment où le terrain glissera suivant AB. L'inclinaison sous laquelle le mouvement commence détermine l'*angle de frottement du terrain* considéré.

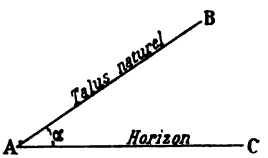


Fig. 236.

Le point de passage de la résultante ne doit pas dépasser 1/3 de la largeur du joint. Ainsi AB étant un joint d'une fondation (*fig.* 237) reposant sur un terrain, et R la résultante des pressions verticales, la distance AC doit être au minimum égale au 1/3 de AB. Si cette distance est moindre que ce tiers, la longueur

intéressée à la répartition des pressions est seulement 3 fois AC.

La pression maximum p tout près du point A est donnée par la formule :

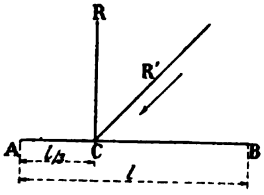


Fig. 237.

$$p = \frac{2P}{l}.$$

La pression P étant de 15.000 kilogr., et la longueur l étant de $1^m,50$, la pression maximum par mètre carré serait tout près de l'arête A de :

$$p = \frac{2 \times 15.000}{1^m,50} = 20.000 \text{ kilogr.}$$

Si la distance AC était seulement de $0^m,40$, on prendrait, pour la longueur de la répartition des pressions, $0^m,40 \times 3 = 1^m,20$. Par suite, la pression maximum en A serait par mètre carré :

$$p = \frac{2 \times 15.000}{1^m,20} = 25.000 \text{ kilogr.}$$

Pour que la base de la fondation ne puisse glisser à la surface du terrain, il faut que la résultante des pressions se rapproche de la verticale. Pour une inclinaison quelconque, la résultante des pressions donne une composante verticale qui tend à maintenir la maçonnerie sur le plan horizontal, mais en même temps elle produit une composante horizontale qui tend à faire glisser la maçonnerie. Si cette résultante est peu inclinée avec le plan de base, la composante horizontale de cette résultante pourrait faire glisser la construction sur le terrain. On serait donc à la limite de l'équilibre, si l'inclinaison de cette résultante était égale à l'angle du frottement de la maçonnerie. L'inclinaison du frottement de la maçonnerie sur le terrain est comprise entre 0,30 et 0,57, c'est-à-dire que la valeur du frottement varie des 30 0/0 aux 57 0/0 du poids de la construction.

Fouilles (voir p. 378). — On *fouille* le sol, sur toute la superficie de la maison si elle est entièrement sur caves, ou autrement on creuse seulement à l'emplacement des caves, des fosses d'aisances et des murs de refend.

Les fouilles sont faciles dans les terrains secs et fermes. Dans les terrains sablonneux il faut se précautionner contre les éboulements; aussi, si les fouilles sont étendues, faut-il les faire non verticales, mais en talus à l'extérieur et si l'on va à une certaine profondeur, former ce talus en gradin en retraite (*banquettes*).

Pour retenir les terres dans la direction voulue, on place, à mesure qu'on descend, des madriers dans le sens vertical, et entre eux des pièces de bois transversales un peu inclinées dont

on fait marcher le pied avec le bec d'un ciseau ou d'un pied de biche.

Si l'on rencontre l'eau de source, en fouillant le sol, on peut la super, ou mieux la dévoyer ou l'épuiser, comme une nappe d'eau naturelle. On effectue le *desséchement* au moyen de seaux, de pelles rondes, de pelles ou écopes hollandaises, de pompes en planches, de chapelets, de pompes centrifuges, de pompes à augets ou à seaux ou norias, de vis d'Archimède.

Dans les cas où il s'agit d'élever des fondations très solides, il faut élever des murs provisoires, formés de pieux contre lesquels on place des madriers et qui contiennent dans leur milieu de l'argile damée).

Les terres extraites de la fouille doivent être jetées le plus loin possible d'elle, afin de ne pas surcharger la terre environnante.

Reconnaissance du terrain. — Sondages. — On acquiert la connaissance du terrain par des sondages, par le forage ou par le percement du puits qui devra fournir l'eau de la construction, s'il en est besoin d'un. Les renseignements sur les travaux voisins sont très utiles. On comparera les données obtenues aux connaissances géologiques sur l'emplacement de la construction.

On ne négligera pas, pour un édifice important, de s'assurer de la résistance du sol en le chargeant beaucoup plus qu'il ne doit l'être plus tard. La figure 238 indique le moyen de faire cette opération.

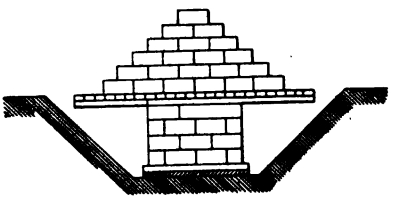


Fig. 238.

L'excavation de petits puits de sondages devient coûteuse, lorsque les recherches doivent être poussées profondément, car on doit alors *boiser* les parois ; aussi ces puits se continuent-ils rarement au-delà de 5 mètres dans les terrains secs et cohérents.

Les recherches au moyen de la sonde ordinaire ne peuvent porter que sur de faibles profondeurs. On commence par creuser un trou peu profond, puis on y enfonce la sonde à coups de masse.

La *sonde* se compose d'une barre de fer ronde ou carrée, amincie en points de barbelures garnies de suif, qui ramènent de la terre à la surface et donnent ainsi quelque idée de la nature des couches. On juge de la cohésion et de la dureté du terrain par la facilité plus ou moins grande avec laquelle la barre pénètre dans le sol.

Les *sondes* perfectionnées pénètrent dans le sol aussi loin qu'il est nécessaire et en extraient les éléments permettant d'apprécier

les qualités des diverses couches. Ces appareils se composent de la *tête*, de la *tige* et de la partie inférieure de celle-ci (*outil*). La tête est une barre de fer cylindrique ou prismatique, terminée à sa partie supérieure par une ouverture carrée (*fig.* 239) ou par un anneau (*fig.* 240), avec un *œil* dans lequel passe un levier destiné à imprimer un mouvement de rotation à l'instrument.

La tige comprend un nombre indéterminé de barres de fer, rond ou carré (*allonges* ou *rallonges*), de $0^m,025$ à $0^m,035$ d'épaisseur, et s'assemblant les unes au bout des autres, soit par emboîtement ou enfourchement, soit à vis et à douille.

Les outils, reliés à la tige par des assemblages analogues, agissent par rotation ou percussion. Les premiers sont en forme de cuillère (*fig.* 241) pour terrains sablonneux, de tarières ou dévidoirs (*fig.* 242 à 245) pour terrain argileux et gras ; certaines

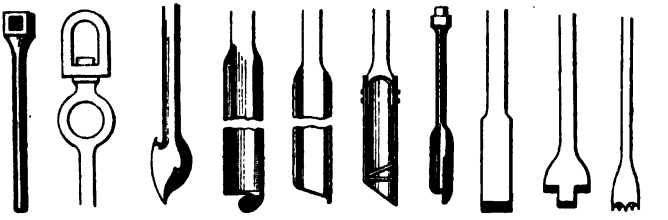


Fig. 239, 240, 241, 242, 243, 244, 245, 246, 247, 248.

cuillères, celles notamment qui doivent opérer sous l'eau ou dans les sables, sont à soupape (*fig.* 244), de manière à ne pas laisser échapper les éléments qu'on veut examiner à la surface. La figure 245 montre un *évidoire*.

Les outils agissant par percussion, dans les terrains pierreux particulièrement, sont des *trépans* ou *ciseaux*. On distingue le trépan simple (*fig.* 246), le trépan à téton (*fig.* 247), le trépan à pointes (*fig.* 248).

Des outils spéciaux, clefs de retenue, clefs de relevée, tourne-à-gauche, caracols, tire-bourre, cloche à écrou, accrocheurs, etc., servent à la manœuvre des sondes, pour la maintenir, la relever ou en retirer les tronçons en cas de rupture.

La chèvre avec treuil, le levier de battage et le levier d'équilibre complètent l'outillage du sondeur.

Dans les terrains marécageux on emploie le battage des pieux ; on juge de la résistance par la facilité de pénétration des pieux dans le sol et aussi par la longueur du pieu qu'il est possible d'enfoncer.

Devis des sondes. — M. Lippmann fournit une sonde de $0^m,02$ pour le côté du fer carré de la tige, de $0^m,07$ à $0^m,10$ de diamètre

du trou pour 10 à 15 mètres de profondeur de sondage, comprenant les éléments suivants :

1	tête de sonde	14 francs
1	clef de relevée	18
1	esse à brides	5
1	clef de retenue	7
1	manche de manœuvre	18
2	tourne-à-gauche	10
1	allonge de 1 mètre	14
9	tiges de 2 mètres	162
1	tarière ouverte de 0m,095	52
5	mètres de tuyaux de 0m,08	57f,50
50	boulons de jonction pour tuyaux	10
1	trépan à téton de 0m,07	21
1	tarière ouverte de 0m,065	38
1	tarière rubanée de 0m,065	20
1	soupape à clapet de 0m,06	42
1	carecole	14
1	chèvre en fer à 3 montants, avec poulie et cordage	110
	TOTAL	612f,50

Puits. — Si, en faisant la fouille, on rencontrait l'eau et que l'on fût obligé d'*assécher le sol* pour continuer, on creuserait de distance en distance, au fond de la fouille, des *puisards* avec rigoles d'écoulement amenant les eaux.

Le fond de ces puisards est un peu au-dessous du niveau où l'on doit arrêter la fouille. C'est dans ces puisards que l'on met les crépines des pompes d'épuisement.

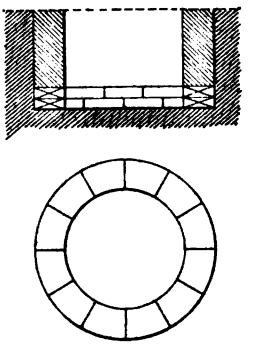


Fig. 249 et 250.

Quand on veut faire un puits fournissant de l'eau, on établit sur un bon sol un *rouet* en bois de chêne (*fig.* 249 et 250). Sur ce rouet on élève la maçonnerie en matériaux secs sur toute la hauteur où le terrain donne des pleurs. Les assises sont construites comme les voûtes, par voussoirs.

Dans les terrains boulants de sable, d'argile détrempée ou de vase, on se sert d'une trousse coupante en bois (*fig.* 251) ou d'une trousse formée d'une tôle garnie de supports de fer plat recourbé (*fig.* 252) sur lesquelles on établit un rouet. On maçonne une tour sur le rouet en même temps

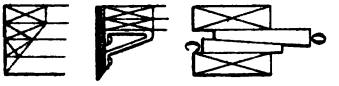


Fig. 251. Fig. 252. Fig. 253.

que l'on creuse au-dessous de la trousse; la tour descend sous l'influence de son propre poids. Le puits une fois établi, on comble le vide à l'intérieur de la tour, s'il s'agit de fondations. On a pu descendre ainsi à des profondeurs de 15 à 20 mètres, à tous les diamètres possibles d'ailleurs.

Dans le cas où l'on serait obligé d'arrêter la descente de cette tour et où, par conséquent, il faudrait établir le puits par tronçons, une fois arrivé à un sol résistant, on laisse une banquette (*fig.* 254), et on établit par segments un nouveau *rouet* entre cette banquette et le rouet où est assise la maçonnerie de la tour.

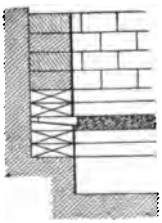


Fig. 254.

Ensuite on enfonce entre les deux rouets des cales en chêne parfaitement sec C (*fig.* 253), puis on chasse dans le joint des cales en ormeau O parfaitement sec. On garnit de broches en fer les trous laissés par ces cales, enfin on enfonce un picot d'acier partout où l'on rencontre une surface de bois, et, dans le trou fait ainsi, on chasse des picots en fer. Ces dernières opérations constituent le picotage, et l'ensemble des deux rouets forme la *trousse picotée* (*fig.* 253).

On a pu foncer des *puits de grands diamètres* et de *faible hauteur* dans des terrains humides, en les maçonnant sur place. On creuse la fouille tant que l'on n'est pas gêné par l'eau et que les terres se tiennent; puis, partant du fond de cette fouille, on maçonne. Ensuite on creuse sous la tour en des points diamétralement opposés de sa circonférence et on établit des appuis ayant 1 mètre de hauteur; peu à peu on fouille et on maçonne entre les appuis et l'on recommence ainsi à foncer et à construire partiellement des couronnes de 1 mètre de haut.

Exécution des fondations hors de l'eau. — Lorsque les fouilles ont atteint un terrain résistant, après en avoir nivelé et dressé le fond, on procède à l'exécution de la maçonnerie de fondation. Si cette maçonnerie est en moellon ou en meulière, l'ouvrier choisit les morceaux les plus gros et les plus résistants, et il en pose une première assise sur un lit de mortier étendu sur le fond de la fouille; il les liaisonne et les frappe avec sa hachette pour les bien affermir et imprégner de mortier. Le premier rang étant posé et garni, il le recouvre d'un lit de mortier, sur lequel il pose de la même manière, et toujours d'arasement, la deuxième assise, en tassant chaque moellon et en croisant les joints montants avec ceux de la première assise; il continue ainsi jusqu'à ce que le sommet de la maçonnerie soit arrivé de $0^m,10$ à $0^m,15$ en contre-bas du sol.

Pour que les fondations soient solides et que le tassement soit uniforme, il faut composer chaque assise de matériaux de même

hauteur et de même dureté, en plaçant les plus résistants dans le bas.

Lorsqu'une fondation repose sur le sol naturel incompressible, il suffit de lui donner de $0^m,05$ à $0^m,10$ d'*empattement*, c'est-à-dire de saillie, sur chaque face du mur qu'elle doit supporter : cela suffit pour que l'on soit sûr que la fondation sera pleine sur une épaisseur au moins égale à celle du mur et qu'il n'y aura pas de porte-à-faux, malgré le peu de soins qu'on met à dresser les parements dans les tranchées, et aussi pour que la résistance soit plus grande en raison de l'excès de charge que supporte la fondation.

S'il y a des venues d'eau impossibles à éviter, le *sol des caves* doit être placé à $0^m,30$ au-dessus de la plus haute nappe d'eau.

Le *soubassement* a ordinairement $0^m,05$ à $0^m,10$ de plus que l'épaisseur du mur en élévation, à cause de la saillie ou empattement (*fig.* 256) ; on le monte jusqu'à $0^m,50$ au moins au-dessus du niveau du sol.

Les *murs mitoyens* et les *murs de refend* reçoivent également à la base un empattement de $0^m,10$ à $0^m,12$. Cet empattement

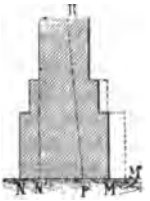


Fig. 255.

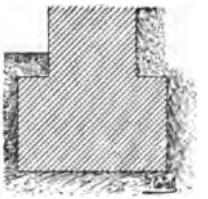


Fig. 256.

répartit le poids élevé dessus sur une plus grande surface, ce qui diminue la compression verticale du sol.

Dans certains cas on peut disposer plusieurs empattements successifs, afin de mieux répartir la pression (*fig.* 255).

Il ne doit exister aucun joint au-delà des faces de la maçonnerie supérieure, excepté dans le cas où l'empattement est formé de plusieurs assises ; toutes les pierres doivent pénétrer dans l'œuvre de $0^m,10$. Autrement, les empattements ne recevront pas le poids de la maçonnerie supérieure et deviendront inutiles (*fig.* 258). La saillie de chaque assise l'une en dessous l'autre doit être calculée d'après le poids de la maçonnerie supérieure ; si ces saillies étaient trop grandes, le poids ferait fendre l'empattement (*fig.* 257). Lorsqu'on élève de fortes masses de maçonnerie, il est bon de ne donner qu'une petite saillie aux assises de l'empattement et de le monter en face un peu biaise, ou de l'élever en forme d'escalier dont les marches auraient très peu de giron.

Les empattements en briques se font avec de simples assises de briques ; les faces d'empattement ne doivent présenter que des largeurs de brique, c'est-à-dire 1/2 brique à plat; leur saillie les unes sur les autres ne doit être que 1/4 de brique, sauf le cas où les murs n'auraient que 0m,22 d'épaisseur.

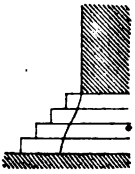


Fig. 257.

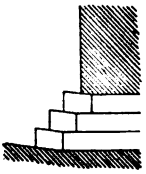


Fig. 258.

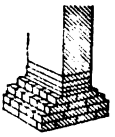


Fig. 259.

Si l'on continue l'empattement sur toute la longueur du bâtiment, il faut que toutes les assises aient double rang de briques, dans lesquelles les boutisses (dont la plus grande longueur est dans le corps du mur) doivent être placées au-dessus des panneresses, dont la plus grande longueur est en vue, lesquelles formeront le rang inférieur (*fig.* 259).

Gradins. — Jamais un mur ne doit être assis sur un plan incliné. Quand le bon sol n'est pas horizontal, on l'entaille pour préparer une série de gradins ou *redans* (*fig.* 260) analogues à des marches d'escalier et ayant, par exemple, 0m,30 à 0m,50 de hauteur.

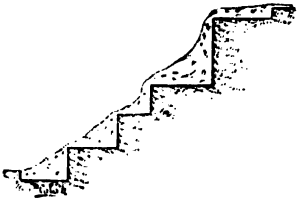


Fig. 260.

Dans ce système la hauteur du mur est variable d'un redan à l'autre, les tassements sont inégaux, et il peut en résulter des déchirements et des crevasses dans les massifs. Il faut s'efforcer d'annuler ce tassement en amenant toutes les parties du mur au niveau du redan le plus élevé, au moyen de maçonneries particulièrement résistantes et liaisonnées avec soin.

Pour répartir uniformément sur le sol le poids d'une construction, les dimensions des murs de fondation devront être telles qu'elles puissent supporter la construction supérieure, et répartir sur le sol le poids, de manière à ne pas dépasser 2 kilogr. et demi par centimètre carré.

Rigoles. — Sur un sol incompressible on pourrait établir les fondations directement et sans fouilles, mais il vaut mieux pousser la fondation à 0m,40 ou 0m,50, afin d'éviter tout glissement,

ainsi que toutes dégradations pouvant résulter des travaux faits sur le sol des caves.

On doit même, dans certains cas, pousser la fondation jusqu'à 1m,25 de profondeur au-dessous du niveau du sol, pour éviter l'effet des gelées.

On creuse alors dans le terrain de petites *rigoles* ou tranchées, un peu plus larges que l'épaisseur des fondations, et qui sont souvent au même niveau dans toute l'étendue des fondations.

Ces fondations s'appliquent aussi aux terrains rocheux et aux terrains graveleux ou sablonneux, lorsque ces derniers sont à l'abri de l'action des eaux.

Les rigoles des fondations sont remplies en moellon ou en meulière, hourdé en mortier de ciment ou de chaux hydraulique et sable de rivière. On emploie aussi le béton de cailloux et mortier hydraulique, pilonné par couches de 0m,20 ; mais il faut araser le béton au-dessous du sol des caves, afin qu'il soit toujours encaissé dans le sol.

Fondations par piliers isolés. — Pour des piliers isolés supportant de fortes charges, l'empattement de 0m,05 à 0m,10 de la fondation sur tout le pourtour de chaque pilier est insuffisant ; on est obligé de les fonder sur un mur continu construit comme pour le mur que remplacent ces piliers. Souvent même, afin de répartir la pression des piliers sur toute la longueur du mur de fondation, on dispose ce mur en *voûtes renversées* (*fig.* 261) dont les naissances sont placées sous les socles des divers piliers. Dans certains cas même, lorsqu'il y a plusieurs rangs de piliers, ceux-ci reposent sur les naissances de voûtes d'arête renversées qui reportent la majeure partie de la charge sur toute l'étendue de l'espace qui sépare les piliers.

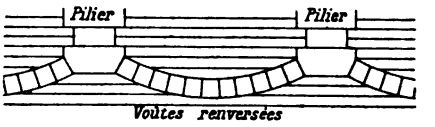


Fig. 261.

Dans toute construction, principalement pour piliers isolés, on place les pierres les plus résistantes au niveau du sol, jusqu'à une profondeur de 0m,15 à 0m,20.

Afin que le tassement soit le même dans tous les piliers isolés, on les construit du même nombre d'assises, on donne la même épaisseur aux joints, et l'on taille les lits pleins et bien perpendiculaires à l'axe.

L'arc renversé ne devrait être employé que lorsqu'on peut lui donner deux points d'appui ou deux culées, une de chaque côté. S'il est pratiqué à l'angle d'un bâtiment, sous une baie ou un grand espace vide, l'effet d'un tassement fera dévier l'encoignure de la verticale.

Fondations en libages. – Pour les constructions de quelque importance, les fondations s'exécutent de la manière suivante: lorsque le fond de la fouille est bien nivelé, on y étend un lit épais de mortier, sur lequel on pose une assise de forts libages dont les lits seulement sont ébousinés ; on frappe les pierres avec le pilon pour les asseoir plus sûrement ; ces matériaux font parpaing si l'épaisseur du mur le permet, et on les dispose en boutisse dans le cas contraire ; on a soin de bien les liaisonner, en croisant les joints en tous sens, et l'on garnit ces joints de mortier au fur et à mesure de la pose.

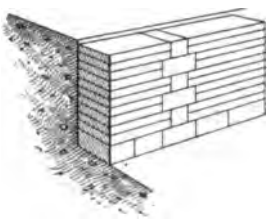


Fig. 262.

On construit quelquefois des fondations entièrement en libages jusqu'au niveau du sol ; ou encore on établit, sous forme de *chaînes en libages* (*fig.* 262), les parties qui doivent supporter de fortes charges, comme celles qui se trouvent sous les angles, les trumeaux, les piliers, etc., et l'on remplit les intervalles de ces chaînes en maçonnerie de moellon, de meulière ou de briques.

Fondations en maçonnerie de meulière ou de moellon de roche dure, hourdée en mortier de ciment romain. — Les mortiers de ciment, par la rapidité de leur prise, permettent de faire des maçonneries qui deviennent presque immédiatement incompressibles sous de fortes charges. Aussi substitue-t-on, pour les murs et massifs de fondations, à la maçonnerie de libages, ou même de pierre de taille, qui est d'une exécution longue et dispendieuse, la maçonnerie de meulière ou de moellon de roche dure, hourdée en mortier de ciment, qui procure une économie, abrège la durée des fondations ; les murs et massifs forment un ensemble monolithe. On a exécuté de cette manière les fondations des théâtres de la place du Châtelet, du Tribunal de commerce, du nouvel Opéra, etc.

Fondations en béton. — L'emploi des libages et de la maçonnerie de meulière ou de moellons durs et ciment, pour les fondations, est dispendieux, surtout dans les localités où la pierre de taille et les moellons durs sont rares. Aussi a-t-on recours au béton, qui procure une grande économie. On donne à la couche de béton, fortement pilonnée, $0^m,30$ à $0^m,80$ d'épaisseur, et une largeur telle qu'elle forme un empattement de $0^m,10$ à $0^m,15$ faisant saillie sur les faces des murs qu'elle doit supporter. Ces murs se font même quelquefois entièrement en béton jusqu'au niveau du sol.

Les maçonneries en béton ont la propriété, lorsqu'elles sont

bien exécutées et faites avec de la bonne chaux hydraulique, de former des massifs d'un haut degré d'incompressibilité. Aussi doivent-elles toujours être préférées à celles de libages ou de moellons de pierre tendre pour les fondations importantes. Si la construction doit être élevée rapidement, de 5 à 6 étages dans l'année, par exemple, la prise du béton doit être rapide, afin de précéder le chargement de la fondation.

Fondations sur piliers. — Dans un but d'économie, quand on est obligé de descendre à une grande profondeur pour trouver le sol résistant, les fondations peuvent être composées d'une série de piles ou piliers convenablement espacés et reliés à leur sommet par des voûtes en plein cintre ou en arc de cercle surbaissé (*fig.* 263), sur lesquelles s'élèvent les murs de la fondation proprement dite; on ramène, par ces voûtes, la pression de l'édifice sur les piliers.

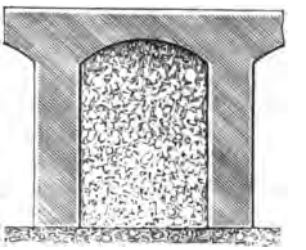


Fig. 263.

Quand la largeur de la fondation le permet, on ne descend la fouille jusqu'au sol résistant qu'aux emplacements des piliers, et l'on taille les massifs de terre intermédiaires, de manière à les faire servir de cintres pour établir les voûtes de couronnement. Dans le cas contraire, on fait la fouille entièrement, puis on construit les piliers, dont on remplit les intervalles avec des terres provenant de la fouille, en formant également, avec ces terres, les pâtés devant servir à l'établissement des arceaux.

Ces fondations s'exécutent ordinairement en béton. Les réservoirs d'eau de la rue de l'Estrapade, à Paris, sont fondés de cette manière ; les piliers ont environ 2 mètres de côté, et une hauteur de 12 à 15 mètres; ils sont reliés par une série de petites voûtes transversales sur lesquelles, au niveau de l'intrados à la clef, prennent naissance d'autres grandes voûtes longitudinales.

Consolidation du sol au moyen de pieux en béton ou en mortier. — On parvient à donner aux terrains mous et compressibles un certain degré de résistance, en y battant des pieux en bois ou en y enfonçant, de distance en distance, un pieu en bois, que l'on arrache au moyen d'une chèvre à bicoqs, pour emplir l'alvéole qu'il laisse avec du mortier ou du béton fortement pilonné au fur et à mesure de sa pose. On fait autant de ces pieux en béton que cela est nécessaire pour rendre le sol résistant, puis on recouvre ce sol d'une couche de béton bien pilonnée.

La pièce de bois a de 1 à 2 mètres de longueur, et de $0^m,18$ à

0m,25 de diamètre à la partie supérieure; sa tête doit être garnie d'une *frette* en fer, pour résister aux chocs du mouton ou du maillet, et elle est percée d'un trou dans lequel on passe une pince ou une barre de fer, qui sert, pendant le battage, à remuer et tourner la pièce au fur et à mesure qu'on l'enfonce, de manière à lisser les parois de l'alvéole et à leur donner une certaine consistance qui permette la pose du béton sans qu'elles s'éboulent. Ce mouvement imprimé au pieu le rend facile à retirer quand il est entièrement enfoncé.

Lorsque le sol est constamment sec, on peut à la rigueur substituer du sable au mortier ou au béton pour remplir les alvéoles des pieux en bois.

Sur un sol consolidé par des pieux en béton, on peut encore faire usage d'une plate-forme en bois pour bien répartir la pression; mais le plus souvent on emploie une couche de béton assez forte pour qu'elle ne puisse pas se briser.

Pour établir certaines fondations de piliers, on creuse le sol à 1 mètre au-dessous du niveau auquel on veut descendre l'empattement des piliers; on remplit simplement l'excavation de *sable*, mais en le tassant avec la dame, puis on établit dessus les maçonneries de libages et mortier ordinaire, puis l'assise en pierre de taille formant soubassement. Ce moyen se recommande pour terrains sans consistance.

En Alsace, où le bois est à bon marché, quand on veut fonder sur un terrain vaseux, on appointe de fortes perches, des rondins de 0m,08 à 0m,10 de diamètre, et on les enfonce dans le sol côte à côte et très serrés; cette opération fait remonter la vase au-dessus de ces petits pieux; on l'enlève au fur et à mesure qu'elle se produit. On obtient ainsi un sol artificiel assez résistant, surtout si entre ces rondins on a pu faire pénétrer du gravillon.

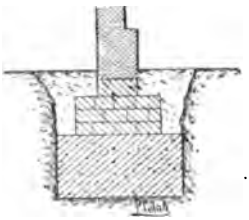


Fig. 264.

Pour fondations sur terrains compressibles, on peut établir des empattements d'une grande largeur (*fig.* 264). La première assise peut être un massif de béton. Au dessus on établit des assises de maçonneries à empattements successifs. On peut ainsi arriver à ne charger le terrain que de 1 à 2 kilogr. par centimètre carré.

Radier général. — Pour répartir les pressions sur une grande surface, on peut bâtir sur un large plateau ou *radier*, en béton ou en maçonnerie, construit au préalable sur le terrain compressible.

On le fait déborder au moins de son épaisseur (variant de 1m,50 à 2m,50). On peut diminuer cette épaisseur si l'on noie dans la masse du béton des fers à plancher formant liaison.

Si l'on ne craint pas les affouillements autour du bâtiment, on peut remplacer le radier en béton par un remblai en sable noyé, dont le pourtour est formé par un massif en béton ou en maçonnerie.

Massifs de fondation en sable mouillé d'un lait de chaux. — Si l'espace occupé par la fondation était très grand, on pourrait, après avoir consolidé le sol au moyen de pieux en béton, le couvrir d'un massif de sable de $0^m,60$ à 1 mètre d'épaisseur, que l'on forme par couches successives de $0^m,15$ à $0^m,20$, pilonnées et mouillées d'un lait de chaux très épais. Ce massif, que l'on couvre d'une couche de béton bien pilonné, pouvant avoir parfois $0^m,80$ à 1 mètre, est incompressible et répartit uniformément la charge sur toute l'étendue de la fondation.

Fondation par piles érigées au moyen de puits, dans des terrains mouvants d'argile ou de sable fin et vaseux. — Depuis longtemps, on emploie dans les Indes, et aussi en Europe, pour les sols mouvants de sable ou d'argile, dans lesquels les pilotis seraient sans efficacité, un système de fondations qui consiste à creuser, à l'aide de treuils, des puits dans le sol, en faisant descendre au fur et à mesure, pour soutenir les parois de la fouille, un tube circulaire ou carré construit en maçonnerie de briques dont la première assise est posée sur une couronne en charpente. On consolide encore le sol, quand il est de résistance insuffisante au moyen d'une chemise en plâtre de $0^m,04$ à $0^m,06$ d'épaisseur ou par un soutènement de couchis et d'étrésillons.

La descente du revêtement en maçonnerie de ces puits s'obtient simplement en creusant de $0^m,30$ à $0^m,60$, suivant la nature du terrain, à l'intérieur du puits et jusque sous la couronne en bois, et en chargeant le haut du revêtement d'un anneau en maçonnerie d'une hauteur égale au creusement effectué. Le revêtement ainsi chargé descend par son propre poids. En opérant ainsi par anneaux successifs, on descend jusqu'au sol résistant, qui se trouve parfois à 15 ou 20 mètres de profondeur.

Ces puits se remplissent ensuite de maçonnerie et forment des points d'appui très solides pour asseoir les constructions.

Lorsque le creusement se fait dans les terrains pénétrés par les eaux, on l'opère au moyen d'une drague à manche suspendue à une corde qui s'enroule sur un treuil, pour faciliter le montage de la terre fouillée. On commence à draguer au centre du puits et on avance régulièrement tout autour jusqu'au revêtement, et souvent jusque sous la couronne; la maçonnerie descend ainsi d'une manière continue et n'adhère pas trop fortement aux terres.

Ces puits, qui ont 1 mètre à $1^m,50$ intérieurement avec un revêtement de $0^m,55$ à $0^m,60$ d'épaisseur, s'établissent par files, avec des intervalles de $0^m,30$ à $0^m,50$, et lorsqu'ils sont arrivés

sur le sol résistant, on les remplit de béton, et quelquefois on les recouvre de voûtes en maçonnerie, meulière, moellons ou briques (*fig.* 265).

Les puits s'établissent surtout aux points où la charge du bâtiment se reporte le plus et leur diamètre se proportionne à la charge.

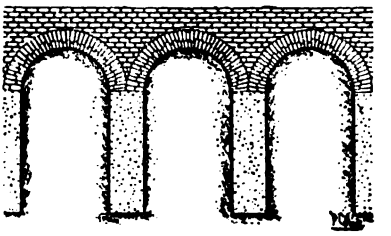


Fig. 265.

Si l'intervalle entre 2 puits consécutifs dépasse 6 mètres, il faut les relier, à la naissance des arcs qu'ils supportent, par des tirants en fer plat de $0^m,06$ de largeur, ancrés au moyen de barres en fer carré de $0^m,04$ de côté.

On creuse souvent, sous tout le développement des murs, des *rigoles* allant d'un puits à l'autre, en leur donnant une largeur un peu supérieure à l'épaisseur des murs aux fondations, pour former empattement. On donne au fond de ces rigoles le profil de cintres de voûtes en arc de cercle s'appuyant sur les puits. La profondeur de ces rigoles au milieu de leur longueur ne peut être inférieure à 1 mètre, et on la fait d'autant plus grande que le sol est moins résistant. Les puits et les rigoles étant creusés, on peut remplir le tout de béton hydraulique, sur lequel on élève, en meulière et ciment ou chaux hydraulique, les murs du bâtiment jusque près du sol extérieur. Le béton des rigoles forme voûtes de décharge, s'appuyant sur les piliers résistants formés par le béton qui remplit les puits, en même temps qu'il répartit la pression sur le sol peu résistant où il repose. On donne à ces arcs, dans les constructions ordinaires, $0^m,50$ à $0^m,70$ d'épaisseur.

On applique ce système en Alsace et dans le nord de la France, quand il s'agit d'un terrain de sable fin très mouvant; on opère principalement dans les temps de sécheresse, ou en faisant de petits épuisements.

En 1825, l'ingénieur Brunel, lors de l'établissement, à Rotherhite, du puits qui communique au tunnel de la Tamise, fit établir sur le sol une couronne en fonte armée d'un tranchant, sur laquelle on érigea une tour en maçonnerie de briques et ciment de $15^m,24$ de diamètre et de $12^m,80$ de hauteur, dans l'épaisseur de la maçonnerie de laquelle se trouvaient noyés de forts boulons verticaux en fer ayant la hauteur $12^m,80$. Ces boulons étaient destinés à relier fortement la couronne inférieure avec une couronne placée sur l'assise supérieure de la tour, et à donner une grande rigidité à tout l'ensemble. La maçonnerie terminée et

fortement serrée entre les deux préceintes, on commença le creusement en allant du centre de la tour au dessous de la couronne. La tour, qui était maintenue au-dessus du sol par des pièces de charpente qui la dirigeaient suivant la verticale, descendait régulièrement au fur et à mesure du creusement, qui s'acheva avec succès.

Fondations sur racinaux. — Si le sol sur lequel on veut construire n'offre pas assez de résistance, et qu'il soit de nature à s'affaisser sous le poids de la construction, on a recours aux *racinaux* (*fig.* 266, abstraction faite des pieux), c'est-à-dire à des pièces de charpente méplates, de $0^m,30$ sur $0^m,12$, dont la longueur est un peu supérieure à l'épaisseur de la fondation. On pose ces pièces bien de niveau sur le sol compressible, en les espaçant de 1 mètre à $1^m,20$ entre elles, et au dessus on fixe, avec de forts clous ou des chevillettes, des madriers de chêne de $0^m,08$ à $0^m,09$ de largeur, de manière à former une espèce de plancher sur lequel on élève les fondations. Avant de fixer cette plate-forme, on remplit les intervalles des racinaux avec des moellonnailles posées à bain de mortier ou avec du béton, afin de les maintenir bien en place. On peut encore remplir ces intervalles avec de la terre, que l'on comprime au moyen d'un pilon; mais alors il faut apporter une plus grande attention, si l'on ne veut pas déranger les racinaux, qui doivent, dans tous les cas, rester parfaitement de niveau dans toute l'étendue de la fondation.

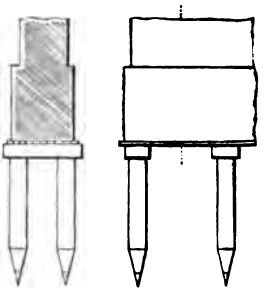


Fig. 266.

Sur la plate-forme on établit la fondation.

Sur un sol consolidé par des pieux en bois ou en béton, on peut

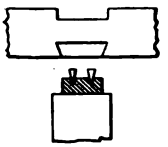


Fig. 267.

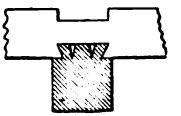


Fig. 268.

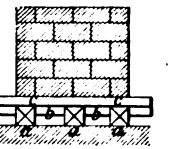


Fig. 269.

faire usage d'une plate-forme en bois pour bien répartir la pression; souvent on emploie une forte couche de béton.

Les figures 267 et 268 représentent le mode d'attache des racineaux. Le pieu a un tenon qui peut s'engager dans une mortaise

correspondante du racineau ou *chapeau*[1]. Cette mortaise va en s'évasant. Elle est remplie entièrement par le tenon qui s'épate par l'enfoncement de coins en bois ou fer visibles sur la figure.

Les figures 269 et 270 réprésentent l'élévation et le plan d'un gril et d'une plate-forme à poutres longitudinales; *b* sont les racineaux; *c*, les madriers de la plate-forme.

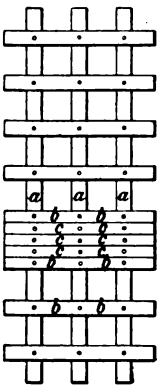


Fig. 270.

La maçonnerie doit être élevée bien régulièrement sur toute l'étendue du massif ou de la plate-forme, afin que les tassements du sol soient bien égaux.

On charge les pieux en chêne de $0^{kg},35$ par millimètre carré, soit de 35 kilogr. par centimètre carré.

Fondations sur pilotis. — Quand le fond des fondations est glaiseux ou vaseux et qu'il n'offre aucune résistance, pour le consolider, on y enfonce, au moyen d'une sonnette, des pieux que l'on bat jusqu'à ce qu'ils offrent un appui suffisant. On dispose ces pieux en quinquonce, en les espaçant de $0^{m},80$ à $1^{m},20$ d'axe en axe sur la longueur de la fondation, et en les plaçant sur deux ou trois rangs, selon la largeur de cette dernière. Ces pieux sont appointés sur une longueur de $0^{m},40$ à $0^{m},50$ et armés d'un sabot en fer, en tôle ou en fonte, pour faciliter la pénétration dans le

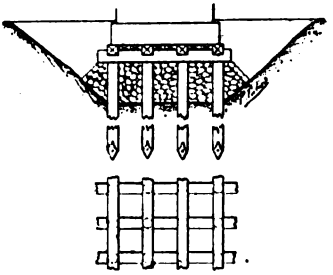


Fig. 271.

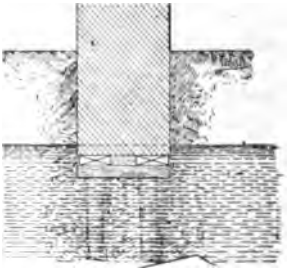


Fig. 272.

sol; leur tête est garnie d'une frette en fer, qui les empêche d'éclater sous le choc du mouton.

Lorsque les pilotis sont tous battus au refus du mouton, on procède au recépage, c'est-à-dire qu'on les scie tous au même et convenable niveau ; puis on pose dessus, en travers de la fonda-

[1] On nomme *chapeau* une longrine ou pièce de bois horizontale posée sur la tête d'autres pièces verticales.

tion, des racinaux que l'on y fixe solidement au moyen de chevilles en fer, et alors on établit, comme il a déjà été indiqué, une plate-forme en madriers, sur laquelle on pose la maçonnerie des fondations (*fig.* 271 et 272).

Les pieux, les racinaux et la plate-forme se font en bois de chêne, qui résiste bien à l'humidité, et même aux intermittences de sécheresse et d'humidité, qui contribuent surtout à la pourriture du bois.

Quand le sol est *très compressible*, on commence par lui donner un certain degré de solidité, soit en le chargeant de pierres qui s'y enfoncent, soit en y faisant pénétrer des pieux par le gros bout, afin que le sol ne les soulève pas par l'effet de son élasticité, soit encore en combinant ces deux moyens, c'est-à-dire en enfonçant des pierres entre les pieux. Sur le sol ainsi préparé, on pose ensuite soit la plate-forme en bois, soit la couche de béton, si l'on ne craint pas sa rupture.

Battage de pieux de fondations. — Les appareils employés pour effectuer ce battage sont : la *mailloche* ou la *hie*, *la sonnette à tiraudes*, et la *sonnette à déclic* fonctionnant à bras d'hommes ou au moyen de moteurs à vapeur.

1° La *mailloche* consiste en un morceau de bois rond, d'orme ou de frêne, de $0^m,20$ à $0^m,25$ de diamètre et de $0^m,40$ de long, garni de frettes en fer à ses extrémités, et muni d'un manche en bois de 1 mètre de long. Elle est manœuvrée par un homme à la manière d'un marteau, ou bien par deux hommes, dont l'un tient le manche, pendant que l'autre facilite le soulèvement de l'outil à l'aide d'une corde fixée par une extrémité.

Quand le diamètre de la mailloche excède $0^m,25$ et sa longueur $0^m,40$, elle prend le nom de *hie*. Elle est formée d'un fort billot en bois dur fretté, et munie de trois manches en bois de 1 mètre de long, lesquels, au lieu d'être implantés normalement au billot, comme celui de la mailloche, font des angles aigus égaux avec son axe ; ce qui permet à trois ouvriers, en agissant sur ces manches de faire fonctionner la hie comme s'il s'agissait d'un pilon.

Les ouvriers sont placés sur un échafaudage, qu'ils abaissent au fur et à mesure de l'enfoncement des pieux.

La mailloche et la hie s'emploient pour enfoncer des pieux ou des palplanches destinés à des travaux provisoires, ou pour consolider, au moyen de pieux en bois ou en béton de 1 mètre à $1^m,50$ de longueur, les sols compressibles qui doivent recevoir des constructions dont le poids n'exige pas une consolidation plus complète obtenue par un battage de pieux à la sonnette.

2° *Sonnette à tiraudes.* — Cet appareil (*fig.* 273 à 276) se compose d'un patin inférieur formé de deux pièces en bois méplat de $0^m,25$ de largeur sur $0^m,15$ d'épaisseur ; l'une de ces pièces a de $1^m,50$ à 2 mètres de long, et elle est assemblée à angle

droit au milieu de la seconde pièce, qui a une double longueur.

Sur la grande pièce de cette embase horizontale en forme de **T**, sont assemblées deux pièces verticales en bois (*jumelles*), de $0^m,10$ à $0^m,15$ d'équarrissage, et d'une longueur égale à la hauteur de la

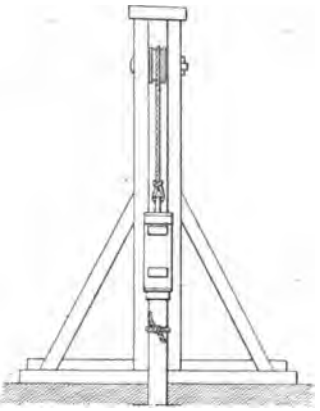


Fig. 273.

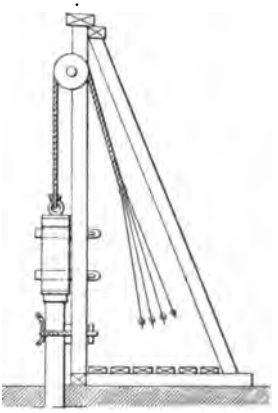


Fig. 274.

sonnette ($4^m,50$ à 6 mètres). Ces pièces jumelles, espacées de $0^m,10$ à $0^m,15$, sont reliées à leur partie supérieure par un chapeau, et sont maintenues verticales au moyen de 3 contre-fiches faisant fonction de jambes de force, deux placées latéralement, et une par

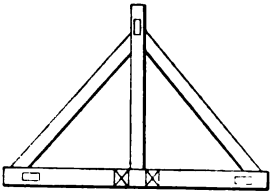


Fig. 275.

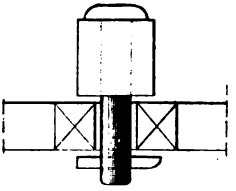


Fig. 276.

derrière. Celle-ci, qui part de l'embase du chapeau des jumelles, est courbe à sa partie supérieure et est garnie de chevilles dans toute sa longueur, de manière à former une échelle de perroquet à l'aide de laquelle on peut monter jusqu'au sommet de la sonnette.

Le mouton est un bloc à section à peu près carrée, en bois dur ou en fonte ; il pèse de 200 à 1.000 kilogr., et il glisse contre les faces des jumelles du côté où se place le pieu à enfoncer. Il est muni latéralement de deux oreilles qui peuvent se mouvoir libre-

ment, mais sans jeu, entre les jumelles, et deux clefs qui traversant les oreilles l'empêchent de quitter les jumelles, lesquelles le guident ainsi parfaitement dans ses mouvements d'ascension et de descente.

Le dessus du mouton porte un anneau, auquel est fixée l'une des extrémités d'une corde qui passe sur une poulie placée entre les jumelles au-dessous de leur chapeau. Cette corde sert à soulever le mouton, et, à cet effet, son autre extrémité est garnie de plusieurs petites cordes ou tiraudes, sur chacune desquelles agit un homme.

La poulie est en bois ou en fonte et a $0^m,50$ à $0^m,60$ de diamètre.

Les *cordes* de manœuvre ont $0^m,01$ à $0^m,003$ de diamètre.

A terre, les sonnettes s'établissent sur un échafaud spécial ;

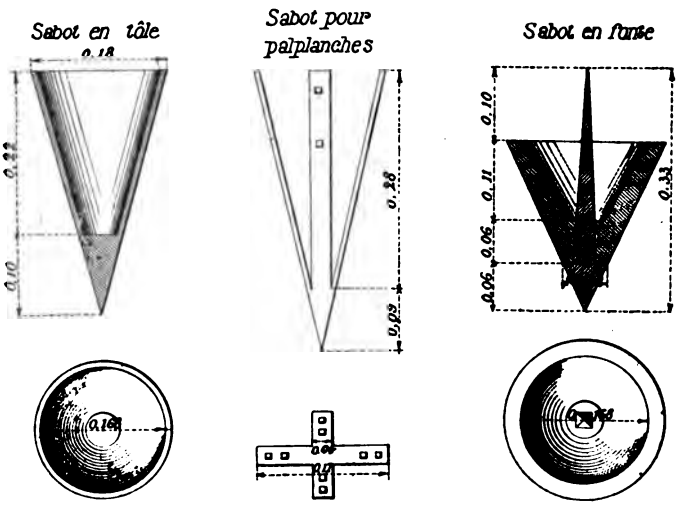


Fig. 277. Fig. 278. Fig. 279.

pour les travaux en rivières, elles sont montées sur un bateau, auquel on les fixe au moyen de boulons. A terre, on peut les maintenir à l'aide de trois câbles ou haubans dont chacun a une extrémité fixée à la partie supérieure des jumelles, et l'autre à un piquet scellé ou enfoncé en terre à 10 ou 12 mètres de distance à l'embase de la sonnette.

Pour la manœuvre d'une sonnette, un ouvrier *arimeur* dirige l'équipe et guide le pieu dans la verticale. Chaque volée se compose de 20, 25 ou 30 coups de mouton. Chaque volée est suivie d'un repos de même durée que la volée (3 à 4 minutes).

La course du mouton de la sonnette à tiraudes doit être de

$1^m,10$ à $1^m,40$ pour faire le battage. On emploie de 18 à 20 hommes aux tiraudes pour les moutons de 300 kilogr. et de 35 à 40 hommes pour les moutons de 600 kilogr.

Les moutons à bras mus par 4 hommes ont environ 1 mètre de levée.

La tête du pieu étant arrivée à la surface du sol ou de l'eau, s'il y a nécessité de continuer l'enfoncement, on a recours à un *chasse-pieux*, morceau de bois dur de 2 à 6 mètres de longueur et d'un diamètre à peu près égal à celui des pieux, que l'on dresse sur la tête du pieu et sur lequel on frappe avec le mouton pour continuer l'enfoncement. Au centre de la base du chasse-pieux est fixé un goujon en fer rond de $0^m,03$ à $0^m,04$ de diamètre et de $0^m,20$ à $0^m,25$ de saillie ; ce goujon pénètre dans un trou de même grosseur fait au centre de la tête du pieu et maintient bien la base du chasse-pieux sur la tête du pieu que l'on continue d'enfoncer.

L'effet dynamique fourni par un homme employé à la tiraude correspond à un effort de 15 à 18 kilogr., à une vitesse de $0^m,20$ par seconde et à une durée de travail effectif de 6 heures par journée de 10 heures.

L'effet produit par les moutons pour des hauteurs de chute de $1^m,30$ au moins est proportionnel au produit de leur poids par la hauteur de chute.

Un pieu de $0^m,23$ de diamètre ne doit pas être chargé de plus de 25.000 kilogr. ; et un pieu de $0^m,33$ de diamètre de plus de 50.000 kilogr. ; c'est à peu près 60 kilogr. par centimètre carré de section du pieu.

Les pieux enfoncés obliquement présentent une résistance qui est à celle des pieux enfoncés verticalement comme le sinus de leur inclinaison est à l'unité.

Le *refus* d'un pieu indique la limite de son enfoncement. Pour des charges *extraordinaires et maxima*, comme celle de 25.000 kilogr. par pieu de $0^m,23$ de diamètre à la tête ou de 50.000 kilogr. par pieu de $0^m,33$, le refus est obtenu lorsque l'enfoncement du pieu n'est plus que de $0^m,0045$ par volée de 25 coups d'un mouton de 300 kilogr. tombant de $1^m,30$ de hauteur, ou lorsque cet enfoncement n'est plus que de $0^m,01$ environ par volée de 10 coups d'un mouton de 600 kilogr. tombant de $3^m,60$ de hauteur, refus équivalant à très peu près à celui obtenu sous une volée de 30 coups avec un mouton du même poids de 600 kilogr. tombant seulement de $1^m,20$ de hauteur.

Lorsque des pieux de $0^m,33$ de diamètre en tête ne doivent supporter que des charges de 8.000 à 10.000 kilogr. chacun, on admet qu'ils sont battus à un refus suffisant lorsque leur enfoncement n'est plus que de $0^m,03$, $0^m,04$ ou $0^m,05$ pour une des volées précédentes.

On ne doit pas chercher à obtenir un refus exagéré, dont les conséquences sont souvent la rupture ou le broyage des pieux dans leur alvéole, surtout quand leur longueur de fiche est supérieure à 8 ou 10 mètres.

La sonnette à tiraudes s'emploie pour enfoncer des pieux dans les terrains faciles. Quand les pieux sont longs ou que l'enfoncement se fait dans des terrains fermes, il y a avantage à employer la sonnette à déclic.

3° *Sonnette à déclic.* — Cette sonnette est à peu près disposée comme celle à tiraudes, mais ses dimensions sont plus grandes. Sa hauteur atteint 9 à 10 mètres, et, comme la hauteur de chute et le poids du mouton sont considérables, il en résulte de forts ébranlements qui réclament une grande solidité.

Le mouton de la sonnette à déclic est soulevé par un câble qui, après avoir passé sur la poulie disposée sous le chapeau des jumelles, va s'enrouler sur un treuil fixé au pied de l'appareil. Le mouton glisse sur le devant des jumelles, et, lorsqu'il est élevé au sommet de sa course, au lieu de retomber en entraînant la corde, comme cela a lieu dans la sonnette à tiraudes, il tombe librement. A cet effet, le crochet ou tenaille à déclic qui le retient à la corde vient rencontrer un heurtoir fixé entre les jumelles à la hauteur voulue, ses pinces s'écartent, et le mouton devient libre.

Souvent, le déclic est formé par un levier dont la petite branche se termine par un crochet auquel on suspend le mouton, tandis qu'à la grande branche est suspendue une petite corde sur laquelle on tire pour laisser échapper le mouton quand il est au sommet de sa course. En fixant le bout inférieur de cette petite corde à l'un des montants de la machine, cette corde se tend d'elle-même, et on peut utiliser sa tension pour faire échapper le mouton.

Quand le mouton est tombé, on fait manœuvrer le treuil pour faire redescendre le déclic, on accroche le mouton, et avec le treuil on l'élève pour donner un nouveau coup.

Les cordes de manœuvre du mouton ont $0^m,04$ à $0^m,05$ d'épaisseur. Le mouton est en fonte et pèse 500 à 800 kilogr. ; sa course est de $3^m,80$ à $7^m,50$.

On compte 3 ouvriers par 50 kilogr. de poids du mouton.

Une équipe de sonnette à déclic se compose de 4 à 6 hommes au treuil, et d'un charpentier arimeur qui dirige le pieu et fait lâcher le déclic lorsqu'il est à corde. Une telle équipe frappe environ un coup par minute, lorsque le mouton est élevé à des hauteurs de $0^m,30$ à $4^m,50$ au-dessus de la tête des pieux.

Sonnette à déclic, mue par la vapeur. — On a substitué des appareils à vapeur au treuil de la sonnette à déclic.

La sonnette à vapeur de Nasmyth a un mouton de 1 tonne à

2 tonnes 1/2 ; la hauteur de chute est de $0^m,80$ à 1 mètre et donne 75 à 100 coups par minute.

Il y a aussi le système à déclic automatique à vapeur Lacour.

Une locomobile de la force de 6 chevaux peut donner 8 coups par minute avec un mouton de $1.100^{kg},00$; avec un mouton de $587^{kg},00$, 38 hommes donnent 12 volées de chacune 30 coups par heure.

Prix du battage des pieux. — Avec des moutons du poids de 500 à 600 kilogr., le prix du battage des pieux est proportionnel aux nombres suivants :

Battages à la sonnette à tiraudes.	1,00
Id. à la sonnette à déclic à bras d'hommes.	0,75
Id. à la sonnette à déclic, mue par une locomobile, le nombre des pieux étant de 150 au moins.	0,40

Le prix du premier mètre de longueur de fiche ou d'enfoncement des pieux est ordinairement estimé 2/3 en plus de celui de chacun des mètres suivants, pour tenir compte des frais d'échafaudage, d'installation, de matériel et de mise en fiche des pieux.

A Paris, les *prix de revient du battage des pieux à bras d'hommes avec la sonnette à déclic*, y compris le bénéfice de l'entrepreneur, sont environ :

1er mètre de hauteur de fiche, pour des pieux de $0^m,22$ à $0^m,35$ de diamètre, compris la fourniture et l'installation du matériel, le bardage et la mise en fiche des pieux, mais non la fourniture et le recépage des pieux.	15 fr.
Chaque mètre de fiche en plus du premier, pour les pieux précédents	9 »
1er mètre de fiche d'un mètre courant de panneau en palplanches de $0^m,08$ à $0^m,15$ d'épaisseur.	16 »
Chaque mètre de fiche en plus du premier, pour le panneau précédent en palplanches.	8 »

D'après Sganzin, un pieu peut porter d'une façon durable environ 26 tonnes, lorsqu'en recevant, à l'aide d'une sonnette à déclic, une volée de 10 coups avec un mouton de 625 kilogr., tombant d'une hauteur de $3^m,50$, il ne s'enfonce que de $0^m,15$; il en est de même pour le pieu qui pénètre de $0^m,12$ dans le sol après une volée de 30 coups d'un mouton de 625 kilogr. de sonnette à tiraude tombant de $1^m,20$.

Dans les bâtiments ordinaires il suffit de battre les pieux avec un mouton de 400 kilogr. ; dans ce cas, lorsqu'une volée de 15 à 20 coups fait enfoncer le pieu de $0^m,13$, celui-ci peut porter 17 tonnes et demie. Le mieux est de moutonner avec un bélier de 400 kilogr. jusqu'à ce que le pieu ne s'enfonce plus que de $0^m,05$ à $0^m,08$ par 2 à 3 volées successives.

Enture des pieux. — Si la longueur d'un pilotis ne suffit pas pour le battre jusqu'au bon sol, il faut pratiquer une enture,

c'est-à-dire greffer un prolongement de pieu. La liaison la plus simple consiste à cercler d'un anneau de fer, de $0^m,08$ à $0^m,11$ de large, le pilotis battu, de telle sorte que la moitié de la longueur du cercle s'emboîte sur ce pilotis, tandis que l'autre moitié reste saillante pour recevoir le pied de l'enture. Cette sorte de frette sera entaillée de son épaisseur dans les deux parties à enter (*fig.* 280). Afin d'augmenter l'adhésion des deux faces, on enfonce dans l'axe du pieu et verticalement un clou à 2 pointes.

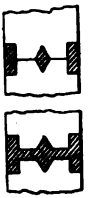


Fig. 280 et 281.

Pour les pieux devant être battus par un lourd mouton, on se sert d'un disque en fer qui se place dans l'enture, est adhérent à la frette extérieure et supporte aussi le clou central à 2 pointes (*fig.* 281).

Pieux à vis. — Pour les fondations de quelques ouvrages d'art, aux pieux ordinaires en bois battus à la sonnette, on a substitué des pieux à vis en fer A. Mitchell, de Belfast. Ces pieux présentent une grande résistance à l'arrachement et à la compression, et permettent d'établir des constructions solides sur des sols et dans des conditions difficiles.

Les vis Mitchell s'adaptent quelquefois à des pieux en bois sous forme de sabots; mais le plus souvent on les fixe à l'extrémité d'un pieu circulaire en fonte ou en fer, dont le diamètre varie en raison du poids à supporter.

Pour les terrains peu résistants, les vis ont 1 mètre de diamètre maximum et de $0^m,25$ à $0^m,30$ de pas. Au contraire, pour les terrains très durs et le rocher, on les réduit à une espèce de tarière conique à filets saillants faisant un certain nombre de tours (diamètre maximum, $0^m,6$; pas, $0^m,2$ à $0^m,3$).

L'enfoncement des pieux à vis se fait très simplement. Sur la tête du pieu, qui est carrée sur une hauteur de $0^m,20$ à $0^m,40$, on place un manchon en fer auquel s'adaptent des barres de cabestan, qui permettent de tourner le pieu à la manière d'une vrille, et de l'enfoncer jusqu'au terrain suffisamment résistant pour le poids à supporter.

Frettage des pieux. — Avant le battage, les pieux doivent être préparés, c'est-à-dire coupés de longueur, frettés et sabotés (*fig.* 277 à 279).

Le frettage consiste à armer la tête du pieu d'une frette circulaire en fer doux de très bonne qualité et de $0^m,06$ à $0^m,08$ de largeur sur $0^m,008$ à $0^m,015$ d'épaisseur. Cette frette, qu'on enfonce avec force sur la tête du pieu, retient les fibres du bois et évite l'écrasement ou le déchirement du pieu sous le choc du mouton.

Après le battage d'un pieu, la frette se dépose, et on la repose successivement sur d'autres pieux, jusqu'à ce qu'elle se rompe.

Si elle est en bon fer doux, elle peut servir pour plusieurs pieux, au lieu de se briser, comme cela arrive sous les premiers chocs du mouton.

Sabotage des pieux. — Le pieu étant coupé à sa longueur, le petit bout, celui opposé au bout qui doit être fretté, est taillé en forme d'un tronc de cône de $0^m,40$ à $0^m,50$ de hauteur et de $0^m,05$ à $0^m,07$ de diamètre à la petite base, pour recevoir le sabot.

Si le pieu doit être enfoncé dans un terrain facile, à 1 ou 2 mètres de profondeur au plus, on le taille tout à fait en pointe à son extrémité, et on l'enfonce sans sabot ; mais, s'il doit être enfoncé à une grande profondeur, on l'arme d'un sabot en fonte, en fer forgé, ou en tôle, destiné à empêcher le bois de s'émousser quand le pieu rencontre un terrain dur et caillouteux.

Les sabots en fonte sont composés d'une masse conique de $0^m,20$ à $0^m,25$ de hauteur, unie à l'extérieur, et dont l'intérieur est creusé et garni d'une tige carrée en fer de $0^m,03$ de côté et de $0^m,30$ environ de longueur. Cette tige est appointée à son extrémité et dentelée sur ses angles, afin qu'on puisse, à coups de masse, l'enfoncer dans le milieu de la pointe du pieu, et qu'elle y retienne solidement le sabot.

Les sabots en fer se composent d'une massette conique pleine de $0^m,07$ à $0^m,10$ de hauteur, munie de 3 ou 4 branches en fer aplati de $0^m,35$ à $0^m,45$ de longueur. Ces branches sont percées de trous par lesquels on implante des broches qui les fixent contre la partie conique du pieu.

Les sabots en tôle ont la même forme que ceux en fonte : ils forment un cône creux de $0^m,30$ à $0^m,40$ de hauteur, que l'on fixe au moyen de broches sur la pointe des pieux.

Recépage des pieux. — Cette opération, qui consiste à niveler à la même hauteur toutes les têtes des pieux qui n'ont pu être enfoncés à la même profondeur, est facile quand elle se fait à sec, puisqu'alors on l'exécute au moyen de la scie ordinaire de charpentier. Mais elle présente des difficultés lorsqu'on l'opère sous l'eau, quelquefois à plusieurs mètres de profondeur.

Pour les travaux en rivières, le recépage se fait à $0^m,60$ à $0^m,70$ au-dessus des plus basses eaux, afin d'éviter les alternatives de sécheresse et d'humidité.

Parmi les scies à recéper sous l'eau, celle de Décessart fonctionne bien, mais elle est coûteuse et éprouve une grande résistance de la part de l'eau. La scie circulaire est plus économique et se manœuvre avec facilité.

La scie à recéper dont l'emploi est fréquent, quoiqu'elle ne coupe pas les pieux avec autant de précision que les précédentes, est la scie oscillante à mouvement alternatif. Elle est manœuvrée par 4 ouvriers, même pour des profondeurs d'eau considérables.

Quel que soit le système de scie à recéper employé, on l'établit sur un plancher solide.

A Paris, pour les travaux de la navigation, le prix du recépage d'un pieu, à une profondeur d'eau de $0^m,30$ à 3 mètres, est de 6 francs. Pour les mêmes profondeurs d'eau, on estime que le prix de revient du recépage de 1 mètre courant de palplanches est de 9 francs.

Arrachage des pieux. — Cette opération s'applique aux pieux provisoires d'enceintes et de supports de cintres de voûtes de ponts. Après avoir entouré la tête du pieu à arracher d'un collier en fer armé de griffes, ou d'une chaîne en fer ou d'une forte corde arrêtée au moyen d'une cheville enfoncée dans le pieu, on fixe à cet entourage le crochet d'une poulie mobile, sous la gorge de laquelle passe une forte corde dont une extrémité est retenue à un piton fixé à un point supérieur de l'une des jumelles d'une sonnette à déclic ; on fait remonter le second brin de la corde pour le faire passer sur une poulie suspendue au chapeau des jumelles, d'où il vient s'enrouler sur un treuil fixé au bas de la sonnette. A l'aide de ce treuil, on tend la corde, et, donnant un coup de mouton, le pieu descend, la corde se tend davantage, et souvent la réaction due à son élasticité suffit pour faire remonter le pieu, qui se détache de son alvéole.

On peut employer un fort verrin portant un crochet auquel on agrafe la chaîne ou la corde fixée à la tête du pieu. En faisant tourner la vis au moyen de forts leviers horizontaux, on arrache le pieu.

L'arrachage au levier est fréquent. Le levier, qui a 7 à 10 mètres de long, a son point d'appui à $0^m,60$ ou $0^m,80$ de l'axe du pieu ; à l'extrémité de son petit bras est fixé un crochet auquel on agrafe la chaîne ou la corde passée autour de la tête du pieu, et son grand bras ayant été élevé à une certaine hauteur au moyen d'un treuil adapté à une sonnette, en l'abandonnant à lui-même, il produit une traction que l'on peut augmenter avec le treuil, et à laquelle le pieu résiste rarement.

Quand on n'a pas de verrin, de sonnette et de treuil, on a recours à une sapine de 10 à 12 mètres de long et d'un fort équarrissage, que l'on fait reposer, à 1 mètre au plus de son extrémité reliée au pieu, sur un point fixe formé de cales en bois dur. Les efforts produits par 4, 5 et quelquefois 8 hommes, agissant par secousses à l'autre extrémité de ce grand levier, suffisent pour opérer l'arrachage.

On doit ébranler le pieu pendant qu'agit la traction, soit en le frappant latéralement avec une masse, soit en frappant sur sa tête avec un mouton.

A Paris, le prix de l'arrachage d'un pieu de support de cintre ou d'estacade, de 3 à 4 mètres de fiche, est d'environ 20 francs.

Fondations sous l'eau. — Pour établir les fondations des piles de ponts, des murs de revêtement, des jetées avancées dans la mer, et, en général, de toutes les constructions dont le pied est noyé, on a recours à l'un des moyens suivants :

1° *Fondations sur pilotis* (*fig.* 282). — Nous avons indiqué (p. 504) le mode d'exécution de ces fondations. Le diamètre des pieux doit être le 1/24 de leur longueur, sans avoir moins de 0m,18 à la tête. Ces pieux, battus à la plus forte limite de refus, peuvent supporter de 45 à 50 kilogr. et même plus par centimètre carré de leur section transversale ; il est bon de ne pas dépasser les 2/3 de cette charge maxima, afin d'avoir une sécurité complète.

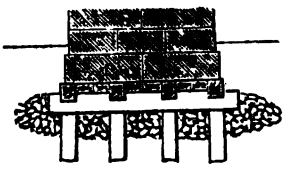


Fig. 282.

Quand les pieux sont enfoncés, on les recèpe tous de niveau à une hauteur convenable, on enlève entre eux la terre ameublie par le battage, et on la remplace par un blocage en pierres sèches si l'on opère à sec, ou par du béton ou de la maçonnerie de mortier hydraulique dans le cas contraire. On comprime fortement ces matériaux à mesure qu'on les pose, afin qu'ils maintiennent bien les têtes des pieux, qu'ils augmentent les frottements latéraux s'opposant à l'enfoncement, et qu'ils ajoutent le plus possible à la rigidité du système.

On pose ensuite un grillage, ou *gril*, en charpente, formé de *racinaux* reliant les files longitudinales de pieux, et de *raversines* s'assemblant à mi-bois sur les longrines. On arase le remplissage au niveau du grillage, et sur le tout on établit une *plate-forme* en madriers, sur laquelle on élève l'édifice.

Comme la plate-forme unie adhère mal à la maçonnerie, on peut la remplacer par une forte couche de béton enveloppant les têtes de pieux, sauf à placer sur ce massif un ou deux rangs de forts libages ou un massif de 0m,40 à 0m,60 d'épaisseur de maçonnerie de moellons durs et ciment romain, afin de répartir convenablement le poids de la construction sur toute la surface du sol.

Ce premier mode peut s'employer soit qu'il s'agisse de fonder sur des terrains secs qui ne sont incompressibles qu'à une certaine profondeur, soit qu'il s'agisse de fonder dans l'eau. Les procédés suivants sont spéciaux à ce dernier cas.

2° *Fondations à l'aide de batardeaux.* — On nomme batardeaux des digues dont on circonscrit l'emplacement de la fondation, afin de pouvoir épuiser l'eau, et ensuite établir la fondation sur le sol mis à sec, en opérant comme ci-dessus (voir p. 503).

3° Pour fonder à de grandes profondeurs, on emploie un *caisson* en bois qu'on amène sur l'emplacement de la fondation, et sur le

fond plat duquel on établit la maçonnerie (*fig.* 283). Le caisson s'enfonce jusque près du sol, par suite du poids de la maçonnerie ; alors, afin de terminer l'échouage convenablement, on laisse pénétrer l'eau dans le caisson. On enlève ensuite les parois latérales du caisson qui n'étaient retenues que par des tirants. Le sol a dû être à l'avance consolidé par des pieux, si cela était nécessaire, et nivelé.

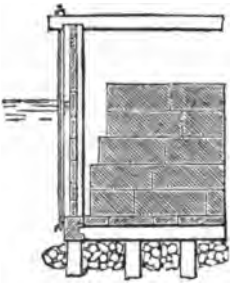


Fig. 283.

4° Le moyen de fonder par *encaissement* (*fig.* 284 et 285) est préféré, à cause de sa simplicité et de son prix modéré. Il consiste à former autour de l'emplacement des fondations une enceinte de pieux et de *palplanches*, à draguer dans cette enceinte jusqu'à ce qu'on atteigne un sol suffisamment incompressible et à la remplir de béton, sur lequel on érige ensuite la construction.

Si le fond du lit était un roc dans lequel il y eût impossibilité d'enfoncer des pieux, on aurait recours à un caisson sans fond, construit sur le chantier, et dont les parois seraient formées de

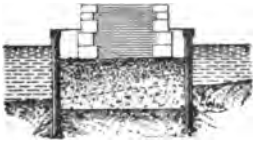


Fig. 284.

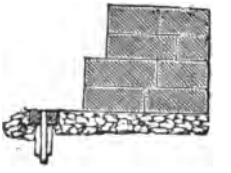


Fig. 285.

poteaux montants et de fortes palplanches, le tout maintenu par plusieurs cours d'entretoises horizontales. On amène le caisson sur l'emplacement de la fondation, on le fait échouer en le chargeant convenablement, puis on établit le massif de béton. Par des sondages on relève le profil du rocher sur tout le contour où doit porter le caisson, dont on taille le bas des parois à la demande des sinuosités du profil.

Pour fonder à de grandes profondeurs sous l'eau, Pluyette, au pont de Nogent-sur-Marne, a fait usage d'un encaissement en tôle. On commence par draguer jusqu'au terrain solide dans tout l'emplacement de la pile ; on échoue l'encaissement, et après avoir dragué à l'intérieur, de manière à unir le fond, on coule une couche de béton d'une épaisseur suffisante ; quand cette couche est solide, on épuise l'eau, et alors on monte la pile à sec.

Au pont Saint-Michel, à Paris, on a employé le caisson sans

fond Baudemoulin. Ce caisson, au lieu d'être en tôle, est en bois ; pour une arche de 35 mètres, il n'a coûté que 14.000 francs, au lieu que celui en tôle de Nogent-sur-Marne est revenu à 90.000 francs.

On peut faire usage de ce caisson, quand l'épaisseur de la vase ou du gravier mouvant n'est pas trop grande, et que le fond solide ne se trouve pas à plus de 5 ou 6 mètres au-dessous du niveau de l'eau.

Au viaduc de l'Aude, à Coursan, les fondations ont été formées de massifs en béton coulé sur le gravier du fond de la rivière, dans des enceintes de pieux et de palplanches ; chaque massif avait $3^m,50$ de hauteur.

5° *Fondations tubulaires.* — Pour fonder les ponts de la Nouvelle et de Rivesalte, on a appliqué un mode de construction imaginé par Brunel, pour le forage des puits du tunnel sous la Tamise, et qui est celui décrit page 502, pour les fondations faites au moyen de puits creusés dans les terrains mouvants de sable fin ou vaseux. Il consiste à faire reposer la base de la pile ou de la culée sur plusieurs colonnes cylindriques, de 3 à 4 mètres de diamètre. Sur l'emplacement de la fondation, on construit hors de l'eau, en maçonnerie de briques et ciment, un cuvelage de puits d'un diamètre extérieur égal à celui de la colonne et d'une épaisseur de $0^m,50$ environ. Ce cuvelage s'établit sur un plancher flottant en bois, et s'immerge par son propre poids. Il s'élève de 1 mètre au-dessus de la surface de l'eau, et, quand il repose sur le sol, on enlève le fond mobile en bois, et l'on assujettit le cuvelage verticalement. On drague à la main le sable et la vase dans ce puits, en approchant le plus près possible des murs. Ce puits s'enfonce à mesure qu'on enlève la terre ; quand il est descendu de $0^m,50$ à $0^m,60$, on élève le dessus de ses murs d'une quantité égale; on drague de nouveau, et l'on continue ainsi jusqu'à ce que le pied de la colonne repose sur le sol résistant. On coule à l'intérieur une couche de béton de ciment d'environ 1 mètre d'épaisseur, on épuise l'eau, et on finit de remplir la colonne avec de la maçonnerie. C'est sur ces colonnes, établies en nombre suffisant, qu'on pose le socle de la construction.

Pour plusieurs ponts, les colonnes tubulaires, au lieu d'être en maçonnerie, sont en tôle ou en fonte, et bétonnées et maçonnées à l'intérieur quand, par le dragage, on les a fait descendre jusqu'au sol résistant.

6° *Fondations tubulaires à l'aide du vide.* — Un pieu creux en fonte ou en tôle, ouvert par l'extrémité intérieure et fermé par l'extrémité supérieure, étant placé verticalement sur un sol baigné par l'eau, en y faisant le vide à l'aide d'une pompe à air, l'eau se précipite dans son intérieur en entraînant des parties solides qui se trouvent sous son extrémité, et le pieu s'enfonce

graduellement sous l'action de son poids et de la pression atmosphérique sur sa base supérieure. Quand le pieu est rempli d'eau et de débris solides, on le vide, et l'on recommence successivement l'opération jusqu'à ce que le pieu ait atteint le sol résistant.

Ce procédé n'est applicable que dans les terrains de vase, de sable, de gravier et d'argile.

7° *Fondations tubulaires à l'aide de l'air comprimé.* — Un tube en fonte de 1 à 2 mètres de diamètre, ouvert par le bas et fermé par le haut, reposant sur le sol, on y comprime de l'air qui chasse l'eau du tube. Des ouvriers s'y introduisent et, en creusant le sol, font descendre le tube jusqu'au terrain solide. On coule au fond du tube un lit de mortier de ciment romain, qui s'oppose à l'introduction de l'eau, et, couvrant le tube à la partie supérieure, on achève de le remplir avec du béton ordinaire ou de la maçonnerie. Pour rendre possibles l'entrée et la sortie des ouvriers et des matériaux ou des terres, le tube est muni à sa partie supérieure d'une chambre, dite *chambre à air* ou d'*extraction*, qui a deux portes qui la mettent en communication, l'une avec l'air extérieur, et l'autre avec l'intérieur du tube. Pour accélérer le travail, on a garni chaque tube de deux chambres à air.

A des profondeurs qui dépassent 25 mètres sous l'eau, la pression de l'air est telle que les ouvriers ne peuvent plus y résister.

8° Pour le *pont de Kehl*, Fleur-Saint-Denis a appliqué la méthode précédente modifiée. Pour descendre les fondations à 20 mètres au-dessous de l'étiage, ou à 22 mètres au-dessous des eaux moyennes, dans un sol de gravier indéfini et très mobile, au lieu de cylindres en fonte s'élevant dans toute la hauteur de la fondation, on a employé d'énormes caissons rectangulaires en tôle, de 7 mètres de longueur (largeur de la fondation), et de $5^{m},80$ de largeur, juxtaposés l'un à côté de l'autre, au nombre de 4, pour former toute la longueur de la fondation.

Le couvercle de chaque caisson portait en son milieu une cheminée d'extraction en tôle de $1^{m},50$ de diamètre, ouverte à ses deux extrémités, s'élevant jusqu'au-dessus de la surface de l'eau et descendant à travers l'intérieur du caisson jusqu'au niveau des bords inférieurs de celui-ci. Dans cette cheminée, remplie d'eau, se mouvait une noria ou drague dont les godets venaient creuser le sol au centre du caisson, où des ouvriers poussaient le gravier de toute l'étendue du caisson. Sur la largeur de la fondation, chaque caisson portait deux autres cheminées en tôle de 1 mètre de diamètre, ouvertes par le bas au niveau du couvercle du caisson et garnies à leur partie supérieure d'une *chambre* ou *écluse à air* pour l'entrée et la sortie des ouvriers.

Les 4 caissons étant descendus sur le sol, à l'emplacement de la fondation, à l'aide d'une pompe on foulait de l'air dans les

deux cheminées latérales, jusqu'à ce qu'il n'y eût plus d'eau ni dans ces cheminées ni dans les caissons. Les ouvriers descendaient alors et l'on mettait les dragues en marche.

Pour la première pile on a élevé au-dessus des parois latérales des caissons une caisse en bois, dans l'intérieur de laquelle on a coulé du béton au fur et à mesure de la descente du travail. Ce béton formait le corps de la pile autour des cheminées en même temps qu'il chargeait le système et l'obligeait à descendre. Les caissons étaient du reste suspendus à des verrins servant à régler la descente. Arrivé à la profondeur voulue, on a rempli de béton et de maçonnerie les caissons, puis les vides circulaires laissés par les cheminées, que l'on a réemployées pour les autres piles.

Pour les 3 dernières piles, on a supprimé le caisson en bois; on s'est contenté d'élever sur les caissons en tôle, au fur et à mesure de leur descente, un massif continu de maçonnerie parementé en libages ou en moellons smillés ; on a supprimé les cheminées centrales en tôle, en parementant en briques les parois du puits contenant la drague ; on a réuni les caissons d'une même pile, et l'on a établi entre eux des communications qui ont permis aux ouvriers d'aller de l'un dans l'autre.

Le pont de Kehl a 4 piles sur lesquelles reposent 3 travées fixes en treillis et en tôle. Chaque culée porte un pont tournant qui va se raccorder à la partie fixe du tablier reposant sur la pile voisine. Les piles extrêmes sont presque doubles des piles intermédiaires ; elles reposent sur 4 caissons en tôle, au lieu que ces dernières sont fondées sur 3 seulement. La première pile a été fondée en 68 jours, et la quatrième en 22.

Pour fonder les deux culées, dans une grande excavation faite à l'aide de machines à draguer, on a fait arriver, en le faisant glisser sur un plan incliné, un caisson en bois de 15 mètres de profondeur et 12 de largeur, qu'on a rempli de béton. Toutes les palplanches ont été battues avec une Nasmyth, qui en enfonçait 20 par jour.

Fondations sur sols argileux détrempés par les eaux. — Ce sont celles qui offrent le plus de difficultés. En vertu de leur viscosité et de leur élasticité, ces terrains se comportent à peu près comme des liquides. Ils transmettent la pression en tous sens; ils s'affaissent inégalement pour peu qu'ils ne soient pas chargés uniformément; les pilotis n'y adhèrent pas et tendent à sortir quand on bat les voisins. Il faut, pour construire avec sécurité, avoir recours à des plates-formes d'une grande étendue, à de larges empattements, répartir les pressions avec une grande uniformité, et souvent charger par des remblais provisoires les abords de la construction. Il est prudent, avant d'élever les parties supérieures, de charger les massifs inférieurs, pendant plusieurs mois, d'un poids au moins égal à celui qu'ils auront à

supporter plus tard. Les difficultés sont plus grandes lorsque ces terrains sont noyés. On est obligé d'avoir recours aux moyens de fonder sous l'eau, et à ceux relatifs aux terrains compressibles.

Un terrain formé par du sable bouillonnant, c'est-à-dire qui, découvert, devient en quelque sorte fluide par l'eau d'une source qui le traverse, doit être fondé en faisant la maçonnerie par petites parties et en se servant d'un mortier très hydraulique. Mais il faut s'enfoncer le moins possible dans ce sable et ne donner à la règle que la largeur des assises.

La première de ces assises doit être faite de forts libages et, avant de les placer, il est bon de répandre sur le sol de la chaux hydraulique en poudre ou en ciment de Vassy. Quand le sable est très bouillant, on couvre le fond de la rigole d'une forte toile imperméable et on coule rapidement dessus un massif de bon béton.

Matériaux. — Pour les fondations, il faut employer des mortiers peu mouillés et bien corroyés et rejeter le plâtre. Comme pierres, on doit rejeter les matériaux tendres, prendre la meulière ou, à défaut, de bons moellons ; ces pierres doivent être hourdées à bain de mortier et serrées au marteau. Il ne faut pas faire de la maçonnerie de blocage, mais il faut la dresser entre lignes, c'est-à-dire la paramenter grossièrement.

Enrochements. — Pour fonder des piles de ponts, des jetées, etc., sur fonds mobiles soumis à l'action de grands courants, ou à de grandes profondeurs d'eau, on fait un *enrochement*, massif de maçonnerie en pierre sèche, établi en jetant, sans aucun apprêt, les pierres dans l'eau. On construit des enrochements autour des fondations exposées à de grands courants, pour les préserver des affouillements. Les matériaux employés doivent être durs et de diverses grosseurs.

Les plus petits blocs doivent être jetés sur le fond du lit de fondation ; ainsi, pour la construction d'une jetée, par exemple, la première couche est formée de blocs naturels cubant de $0^{mc},030$ à $0^{mc},040$; la seconde, de blocs de $0^{mc},035$ à $0^{mc},055$; la troisième, de blocs de $0^{mc},500$ à $1^{mc},500$, et l'on termine ordinairement par une couche de blocs artificiels en maçonnerie de béton ou de moellons, dont le volume varie de 5 à 15 mètres cubes. Pour les enrochements en rivières, les blocs cubent de $0^{mc},040$ à $0^{mc},100$.

Exécution des travaux sous l'eau. — 1° Pour enlever du fond de l'eau une pierre ou tout autre objet, on se sert d'une tenaille (*fig.* 286), dont l'axe d'articulation des mâchoires est fixé à l'extrémité d'un long manche. Les mâchoires se prolongent au-dessus de l'articulation par des tiges formant avec d'autres un parallélogramme dont tous les côtés sont égaux et articulés. Une corde fixée au sommet du parallélogramme, et s'élevant hors de l'eau,

permet, en la tirant, de serrer entre les mâchoires que l'on peut alors élever à la surface.

Pour creuser le sol sous l'eau, on fait usage soit de la drague à main, soit de la drague à chapelets munis de hottes à griffes, laquelle est mue par des chevaux ou par la vapeur.

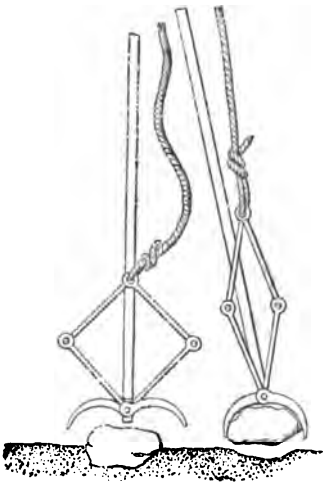


Fig. 286.

2° La *cloche à plongeur*, employée pour retirer des objets du fond de l'eau, ou pour y faire des travaux, consiste en un vase ouvert par le bas, fermé sur toutes les autres faces, et dans lequel des hommes peuvent travailler à des profondeurs considérables sous l'eau.

La cloche à plongeur, perfectionnée par Rennie, a la forme d'un parallélipipède. Sa largeur est de $1^m,38$, et sa hauteur extérieurement est de $1^m,85$, sur $1^m,72$ intérieurement. Ses dimensions vont en augmentant de haut en bas. On la coule en fonte d'un seul jet, en faisant ses parois assez épaisses pour éviter toute fissure, même en cas d'accident, et pour que son poids soit suffisant et afin qu'il ne soit pas nécessaire de la lester pour la submerger, quoique pleine d'air. Au sommet de la cloche est pratiquée une ouverture communiquant avec l'intérieur par plusieurs trous, également circulaires, et fermés par autant de soupapes en cuir s'ouvrant de haut en bas. Un fort tuyau de cuir vissé sur l'ouverture extérieure s'élève jusqu'à la pompe foulante placée sur l'échafaud ou le bâtiment duquel on manœuvre la cloche ; celle-ci est suspendue à de fortes chaînes engagées dans des anneaux en fer emprisonnés dans le corps de la cloche au moment de la fusion.

L'intérieur de la cloche est éclairé à l'aide de 12 lentilles circulaires en verre très épais, solidement fixées par des écrous et du mastic sur le pourtour de la face supérieure.

La cloche contient 2 personnes assises. Le poids de l'appareil est de 4.000 kilogr. La pompe foulante qui fournit l'air est manœuvrée par 4 hommes. Pour que l'air de la cloche n'ait aucune influence sur la santé des ouvriers, il faut qu'il ne renferme pas plus de 4 à 5 0/0 d'air vicié ; pour obtenir ce résultat, la pompe doit renouveler 4 à 5 mètres cubes d'air par heure et par homme. L'air vicié par la respiration, moins dense que l'air

frais, s'accumule au haut de la cloche, d'où on l'expulse par un robinet.

En dehors de la valeur locative de cette cloche à plongeur, qui est de 12 francs par heure de travail, y compris l'équipage du bateau, et de 1 franc lorsque la pompe à air ne fonctionne pas, le prix de revient des travaux de main-d'œuvre exécutés avec cet appareil est à peu près 10 fois celui des mêmes travaux exécutés hors de l'eau.

3° *Bateau-plongeur.* — Pour extraire des pierres qui gisaient au fond du port de Cherbourg, on a fait usage d'une cloche dite *bateau-plongeur*. Cet appareil est divisé, par des cloisons verticales, en trois compartiments, dont celui du milieu est divisé en deux chambres par une cloison horizontale garnie d'une porte ; la chambre inférieure est sans fond.

Avant l'immersion, on comprime de l'air dans les compartiments extrêmes, et les plongeurs s'enferment dans la chambre supérieure. On foule de l'eau dans les compartiments extrêmes, dont l'air se rend dans la chambre intermédiaire supérieure, et, par suite de l'augmentation de poids due à cette eau, l'appareil s'immerge. Arrivé sur le fond, on ouvre la porte de la cloison horizontale, l'air comprimé refoule l'eau de la chambre inférieure et les ouvriers y descendent.

On maintient l'air de l'appareil à l'état respirable en le faisant passer, à l'aide d'un fort soufflet, dans une dissolution alcaline. La tuyère de ce soufflet est garnie d'une pomme d'arrosoir, laquelle, en divisant l'air en petits filets, le met en contact avec la dissolution.

4° Le *scaphandre* Sièbe est un appareil que le plongeur porte lui-même et qui le laisse assez libre de ses mouvements. Le remplacement de l'air vicié par l'air pur se faisant au moyen d'une pompe, l'ouvrier peut rester sous l'eau pendant 3 à 4 heures et plus.

5° *Pelle à couler et encaissement à revêtir.* — Avec l'encaissement à revêtir, on a fait, à plusieurs mètres sous l'eau, au moyen du ciment de Vassy, et sans épuisements, des revêtements d'une épaisseur de $0^m,10$ à $0^m,20$, qui ont une parfaite adhérence avec les maçonneries restaurées, et qui présentent un parement droit et uni comme s'ils avaient été faits hors de l'eau avec la truelle.

Pour préserver les maçonneries en mortiers douteux, on fait sur les parements des rejointoiements ou des revêtements de $0^m,05$ à $0^m,10$ d'épaisseur, avec des ciments inattaquables par l'eau de mer, tels que ceux de Vassy et de Parker.

L'encaissement à revêtir est formé de deux poteaux en bois, d'une longueur supérieure à la profondeur de l'eau, et espacés de 2 mètres d'axe en axe. Ces poteaux sont réunis à leur partie inférieure par une traverse horizontale, et le long de chacun d'eux

est fixée une tige en fer de $0^m,015$ de diamètre. La paroi de l'encaissement destinée à former le parement du revêtement se compose de madriers en chêne de $0^m,035$ d'épaisseur et $0^m,25$ à $0^m,30$ de largeur, dont chacun est garni à ses extrémités d'un piton à vis, lequel, en glissant le long des tiges en fer, fait que tous les madriers se superposent sur toute la hauteur des poteaux en formant une surface unie.

Avant de poser l'encaissement, on procède à la préparation des surfaces à revêtir ou des parois des affouillements à remplir, c'est-à-dire qu'on les dégrade ou qu'on les pique au vif pour les dépouiller des mousses et lichens. Cette opération s'exécute au moyen de longues barres à mine appointées et de brosses de chiendent ou de balais adaptés à des manches assez longs pour atteindre le fond de l'eau. On dépouille le pied de la paroi des résidus du dégradage ou des autres matières qui y sont accumulées, en se servant de râteaux en fer ou de dragues à main.

On place la ferme de l'encaissement, qui descend verticalement dans l'eau, la traverse inférieure étant lestée au moyen de moellonnailles maintenues par des planches fixées contre des poteaux, du côté opposé au revêtement à exécuter. On amène la charpente de manière que, quand les madriers seront en place, leur face intérieure coïncide avec le parement qu'on veut obtenir; alors on la fixe solidement dans cette position au moyen d'amarres; puis, si le parement a partout la même épaisseur, on place tous les madriers de l'encaissement; dans le cas contraire, ou s'il y a des vides à remplir, on ne pose qu'un ou deux madriers à la fois, et l'on fait au fur et à mesure la partie correspondante du revêtement.

Le remplissage compris entre l'encaissement et le mur, c'est-à-dire l'exécution proprement dite du revêtement, se fait au moyen de la *pelle à couler*, formée d'une lame de tôle de $0^m,45$ de côté, qui se relève sous un certain angle à partir d'environ la moitié de sa longueur, et qui est garnie d'une joue en retour d'équerre le long d'une arête longitudinale. Ce relèvement de l'extrémité de la joue maintient sur la pelle la matière qu'on descend dans l'encaissement. La saillie de la joue, plus l'épaisseur du manche, doit être égale à l'épaisseur la plus faible du revêtement, afin que la pelle puisse circuler avec la plus grande charge possible. La pelle à couler est garnie d'un pilon, dont le manche est aussi long que celui de la pelle, lequel doit sortir de $1^m,50$ au moins de l'eau lorsqu'on travaille au fond de l'encaissement.

Ayant placé la pelle horizontalement, l'ouvrier la garnit de mortier de ciment et de cailloux concassés, en couvrant, sur toutes les faces vues, cette espèce de béton par un enduit de $0^m,02$ d'épaisseur arasant la joue de la pelle. Ce garnissage de la pelle doit se faire avec rapidité, afin que l'immersion ait lieu du

moment où le ciment commence à prendre, ce qui arrive parfois après 1 ou 2 minutes.

La pellée étant régulièrement préparée, on la descend verticalement entre l'encaissement et le mur, en faisant glisser le manche contre les madriers ; arrivé à la profondeur voulue, l'ouvrier incline le manche vers lui, de manière à rendre l'extrémité de la pelle à peu près verticale, et, soulevant légèrement la pelle, le contenu s'en détache facilement ; avec le pilon on le régularise et on le fait adhérer à la paroi du mur et à la partie du parement déjà faite. Le pilon doit faire le nécessaire sans délayer le mortier ; sa manœuvre ne produit qu'une laitance insensible avec un mortier très gras composé de 3 parties de ciment de Vassy pour 2 de sable.

Quand l'encaissement est garni jusqu'au niveau de l'eau, on le déplace pour le reposer à la suite et exécuter une nouvelle portion.

Fondations maritimes en mastic d'asphalte [1]. — Le mastic d'asphalte étant inattaquable par l'eau de mer, on peut en faire des blocs artificiels employés comme les blocs de béton pour les ports. Pour plus d'économie, on fait des blocs mixtes, dont le noyau est en maçonnerie de chaux grasse et l'enveloppe en béton d'asphalte de $0^m,15$, le tout donnant un cube de 9 mètres. On fait une plate-forme en madriers, soutenus par des solives reposant sur le sol. On monte un châssis à mouler et on forme une caisse cubant 9 mètres. Au fond de cette caisse, on dispose en quinconce à $0^m,50$ les uns des autres des moellons à longue queue. On coule le béton d'asphalte dans l'intervalle des pierres. On pilonne avec des dames en fer de $0^m,08$ de côté, pesant environ 10 kilogr.

On forme ainsi dans les intervalles des moellons une couche d'asphalte de $0^m,15$.

On répand de gros cailloux cassés que l'on dame fortement et que l'on fait pénétrer à mi-épaisseur du mastic.

Après refroidissement, on enlève les 4 ais du moule. On monte le noyau sur la couche de béton d'asphalte, on construit un bloc en maçonnerie de médiocre qualité ayant les dimensions du bloc futur, moins $0^m,15$ sur chaque face. On brosse le noyau et on remonte les 4 ais, après séchage du noyau.

Dans le vide, entre les ais et le noyau, on coule du béton d'asphalte jusqu'au-dessus du moule. Au-dessus du noyau et jusqu'à l'extrémité supérieure du moule, on coule du béton d'asphalte. Le noyau est donc enveloppé de toutes parts d'une couche d'asphalte de $0^m,15$.

Le *béton d'asphalte* s'obtient en faisant chauffer 100 kilogr. de

[1] Pour les asphaltes, voir plus loin.

mastic d'asphalte dans une chaudière et en y jetant 50 kilogr. de pierres cassées ou de galets gros comme un œuf.

On brasse. Le mélange comprend :

Bitume pur	5 kilogr.
Mastic d'asphalte	95 —
Pierres cassées ou galets	120 —
TOTAL	220 kilogr.

Une demi-heure après complet rechange, le béton est prêt à être coulé.

Lorsque les blocs sont faits en béton d'asphalte seul, on remplit le moule entièrement avec ce béton. Au bout de 10 jours, on démoule et on peut mettre le bloc à la mer. Les dimensions de ces blocs sont de $1^m,50 \times 1^m,50 \times 2$ mètres.

Le prix de revient d'un bloc s'évalue ainsi :

Noyau : Maçonnerie de chaux grasse et de moellons bruts : $6^{mc},500$ à 21 fr.	$136^f,50$
Enveloppe : Béton d'asphalte, fourniture et main-d'œuvre : $3^{mc},500$ à 125 fr. 40	438 ,90
Prix de revient total, abstraction faite des frais généraux, bénéfices, etc.	$575^f,40$

soit 64 francs par mètre cube.

Murs

Dénomination des murs. — On distingue plusieurs espèces de murs : les *murs de fondation* (p. 495), les *murs de face*, de *clôture* et de *soutènement* ou de terrasse ; les *murs de refend*, qui divisent la longueur et quelquefois la largeur d'un bâtiment ; ordinairement ils réunissent les murs de face en allant de l'un à l'autre ; les *murs pignons* sont ceux qui réunissent les extrémités de deux murs de face, et dont la partie supérieure, qui a la forme du comble, sert de support au faîtage et aux pannes ; les *murs dosserets*, que l'on construit en exhaussement des pignons, pour y adosser les tuyaux de cheminée qui s'élèvent au-dessus de ces derniers ; les *murs de soubassement* ou *allèges* sont des murs de peu d'épaisseur qui supportent ordinairement les appuis des croisées ; enfin les *murs d'appui* sont ceux qui servent d'appui ou de garde-corps dans un pont, un mur de quai ou une terrasse ; ils s'élèvent à environ 1 mètre de hauteur au-dessous du sol, et on les nomme aussi *murs de parapet*.

Construction des murs. — Quelle que soit la nature des pierres employées à la construction des murs, on doit les hourder à bain de plâtre ou de mortier, les disposer en liaison les unes avec les autres, et, quand cela est possible, leur faire faire parpaing ; la continuité des joins montants doit être évitée, et l'on doit se ser-

vir des lignes, afin de donner une épaisseur régulière aux murs et de dresser leurs parements.

Les *vides* doivent correspondre aux vides, et les *pleins* aux pleins, dans toute la hauteur d'un mur. Dans les constructions légères cette règle peut souffrir des exceptions, mais il faut alors s'assurer qu'une partie pleine a des points d'appui suffisants.

Le *fruit* est l'inclinaison des faces d'une construction qui existe du dehors au dedans; c'est le contraire du *surplomb*, ou contrefruit. Celui-ci est un indice de malfaçon ou d'état périclitant de la bâtisse; le fruit au contraire est un gage de stabilité, mais cependant trop de fruit pourrait être préjudiciable (*fig.* 287).

Fig. 287.

Le fruit des murs en meulière est ordinairement de 1 centimètre pour 2 mètres de hauteur; on donne plus de fruit aux murs en moellons hourdés en plâtre. Dans les murs en pierre de taille, le fruit est de 8 à 10 centimètres pour la hauteur d'une maison.

Murs de face. — Ces murs se construisent de la même manière que ceux de fondation ; on les érige en pierres de taille, en moellons, en meulière, en briques, etc.; et souvent plusieurs de ces matériaux entrent ensemble dans leur construction : les jambes étrières, les angles et les jambages, linteaux et appuis des portes et croisées se font en pierre de taille, tandis que les intervalles sont remplis en moellon ou en meulière; les parties formant les dossiers des cheminées se font en briques. Ces mélanges ajoutent à la solidité et donnent un cachet décoratif.

Les murs de face se construisent d'aplomb du côté du parement intérieur, tandis qu'ils doivent toujours avoir $0^m,002$ de fruit par mètre de hauteur du côté du parement extérieur ; ainsi, ayant $0^m,60$ d'épaisseur au-dessus de la fondation, ils ne doivent plus avoir que $0^m,59$ de hauteur à 5 mètres, $0^m,58$ à 10 mètres, et ainsi de suite.

Murs de refend. — Ces murs se construisent d'aplomb sur les deux faces, et, s'ils diminuent graduellement en épaisseur depuis les fondations jusqu'au sommet, on donne le même fruit aux deux parements, et on le prend à peu près égal à celui du parement extérieur du mur de face; un mur de refend qui aurait, comme celui de face, $0^m,60$ d'épaisseur à sa base sur la fondation, l'épaisseur du mur de face diminuant de $0^m,002$ par mètre de hauteur, celle du mur de refend diminuerait de $0^m,004$; par suite, à 5 mètres au-dessus de la fondation, le mur de refend n'aurait plus que $0^m,58$ d'épaisseur, et non $0^m,59$. On diminue ordinairement l'épaisseur des murs de refend non en donnant du fruit à leurs parements, mais en faisant des retraites à chaque hauteur de plancher.

Les murs de refend doivent être construits avec les même soins que les murs de face ; on doit les asseoir sur des fondations reposant sur le sol résistant et parfaitement arasées de niveau ; ces murs ont à supporter des souches de cheminées, des planchers, quelquefois des voûtes en voussures, des portées d'escalier, etc.

Murs de clôture. — *Leurs chaperons.* — *Leur hauteur.* — Les murs de clôture n'ayant ordinairement aucune charge à supporter, une profondeur de $0^m,50$ à 1 mètre est ordinairement suffisante pour les fondations, dont l'épaisseur est de $0^m,10$ à $0^m,15$ supérieure à celle des murs ($0^m,40$ environ), afin qu'il y ait un empattement de chaque côté.

Si le mur de clôture est sur un terrain accidenté, on procède par tressauts, pour construire sa fondation. Le fond de la rigole où elle est établie présente des piliers horizontaux à des différences de niveau de $0^m,10$ à $0^m,40$.

Lorsqu'un mur de clôture est construit sur un terrain incliné dans le sens de sa longueur, on fait la fondation par gradins, afin qu'elle ne tende pas à glisser sur sa base vers la partie inférieure. La hauteur des gradins est proportionnée à l'inclinaison du sol.

Les murs de clôture se recouvrent de *chaperons*, qui sont à deux ou à un seul égout, selon que les murs sont mitoyens ou non (*fig.* 288). Dans ce dernier cas l'égout unique a sa pente du côté de la propriété. Ces chaperons se font en ardoise, en plâtre, en mortier de chaux, en briques, en tuiles ou encore en faîtières à recouvrement; ils sont destinés à empêcher l'eau pluviale de s'infiltrer dans la maçonnerie; et, comme on leur donne une saillie de $0^m,05$ à $0^m,10$ sur les nus des murs, ils évitent encore que les parements de ces derniers ne soient lavés. Ces chaperons demandent à être réparés presque tous les ans; aussi y a-t-il avantage à les faire en pierres factices de ciment romain; ils ont alors une durée plus grande, préservent mieux les murs des intempéries, et leur prix n'est guère plus élevé que quand ils sont en mortier de chaux ou en tuiles.

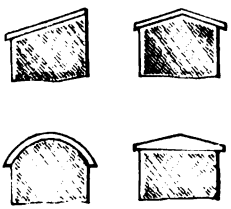


Fig. 288.

Pour des murs de peu d'importance, pour clôtures de vergers, de marais, etc., on fait aussi des chaperons en terre, en paille, fougère et autres matières analogues.

Les chaperons en pierre ont ordinairement la forme rectangulaire et possèdent un larmier saillant de $0^m,027$ à $0^m,10$; ils sont dits en *bahut* quand leur contour est bombé.

Les égouts formés de 2 tuiles neuves valent 1 fr. 35 à 1 fr. 80 le mètre linéaire; avec 2 tuiles remaniées, 0 fr. 75 à 1 fr. 20.

Dans les villes et faubourgs, chacun peut contraindre son voisin à contribuer à la construction et à la réparation de la clôture faisant séparation de leurs maisons, cours et jardins assis ès dites villes et faubourgs.

La *hauteur de la clôture* est fixée selon les règlements particuliers ou les usages constants et reconnus ; et, à défaut d'usages et de règlements, tout mur de séparation entre voisins, qui sera construit ou rétabli, doit avoir au moins $3^m,20$ de hauteur, compris le chaperon, dans les villes de 50.000 âmes et au dessus, et $2^m,60$ dans les autres.

Fig. 289.

Fig. 290.

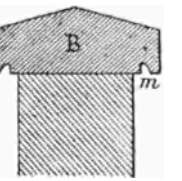


Fig. 291.

Les figures 289 et 290 donnent un exemple de chaperons en tuiles dans le cas d'un mur non mitoyen et d'un mur mitoyen.

Le mur de clôture est souvent recouvert d'un chaperon en pierre (*fig.* 291) formé de dalles B à une ou deux pentes, avec *mouchettes m* pour l'écoulement des eaux.

Contre-mur. — Un contre-mur, c'est-à-dire un second mur adossé à un autre, pour le garantir ou le fortifier, est obligatoire dans certains cas (art. 674 du Code civil). Il est indispensable si l'on veut faire passer un aqueduc le long d'un mur, ou si l'on veut y adosser des terres jectisses, ou autres, des fers, des pierres, des bois, du fumier, des salpêtres, des débris d'animaux et toutes matières corrosives ou susceptibles d'engendrer l'humidité ou d'endommager le mur. On doit encore faire un contre-mur lorsqu'on veut construire à la limite de deux héritages qui ne sont pas de niveau.

On admet généralement, pour un contre-mur, une épaisseur de $0^m,22$, des fondations de $0^m,65$ de profondeur et une élévation égale à celle de la masse des objets que le contre-mur doit soutenir ou écarter.

Code pénal : Art. 191. — Pour les fosses d'aisances, le contre-mur aura $0^m,32$. La distance entre un puits et une fosse d'aisances sera de $1^m,30$, compris les murs de la fosse et du puits; entre 2 puits, 1 mètre pour le moins.

Art. 188. — Qui fait étables, ou autres choses semblables, contre un

mur mitoyen, doit faire contre-mur de 0m,22 d'épaisseur, de hauteur jusqu'au rez-de-chaussée de la mangeoire.

Art. 189. — Le contre-mur pour cheminées et âtres sera en tuileaux ou matériaux de même nature et aura 0m,16 d'épaisseur.

Art. 190. — Qui veut faire forges, fours et fourneaux, contre un mur mitoyen, doit laisser 0m,16 de vide et intervalle entre-deux du mur du four et forge, et doit être ledit mur de 0m,32 d'épaisseur. — Les frais du contre-mur sont à la charge de celui qui établit l'ouvrage qui le nécessite.

Cependant, si des constructions nécessitant le contre-mur étaient faites l'une contre l'autre par deux propriétaires mitoyens, « la maçonnerie séparative formerait un ensemble dont chacun aurait sa part ».

Mur mitoyen. — *Législation*

La *Coutume de Paris* (art. 208) dit « qu'aucun ne peut percer le mur mitoyen d'entre lui et son voisin pour y mettre et loger les poutres de sa maison, que jusqu'à l'épaisseur de la moitié dudit mur et au point de milieu en rétablissant ledit mur et en mettant ou faisant mettre : jambes, chaînes ou corbeaux ». Le commentaire du même article (§ 6. p. 316) ajoute :

On ne doit faire porter dans le mur mitoyen que les poutres et les solives d'enchevêtrure des planchers ; et les autres solives se doivent porter sur des sablières (lambourdes) mises par le dessous au long desdits murs mitoyens portés sur des corbeaux en fer, scellés dans lesdits murs de distance en distance par le dedans-œuvre de chaque maison, tant du côté du voisin qui fait construire le mur en bâtissant sa maison, que du côté de l'autre voisin qui se sert dudit mur, après qu'il est construit, pour deux raisons : la première, si l'on posait toutes les solives dans ledit mur, soit en bâtissant ou autrement, et que les portées des solives vinssent à s'échauffer ou pourrir, ce qui arrive souvent, le mur ne serait plus porté que sur la moitié de son épaisseur, parce que ordinairement les solins entre les solives sont mal garnis, et il se pourrait déverser en cet endroit. Secondement, si après la construction du mur on y faisait porter toutes les solives des planchers d'une maison que l'on adosserait contre, la proximité des trous que l'on y ferait pour loger les solives formerait une tranchée au long du mur qui en diminuerait la solidité.

En jurisprudence on nomme *jours de souffrance* ou de *tolérance* des ouvertures pratiquées dans des murs non mitoyens et distants de moins de 1m,90 de l'héritage d'autrui ; ils servent seulement à éclairer, si les murs touchent immédiatement l'étage voisin (voir Code civil, art. 675 et 676).

Épaisseur des murs. — Cette épaisseur est d'autant plus forte que la longueur et la hauteur sont plus grandes, ainsi que le poids qu'il doit supporter. Elle dépend de la position relative du mur. La hauteur, la longueur et le poids étant les mêmes, un mur isolé résiste moins que celui qui se rattache à un autre qui lui est perpendiculaire ; ce second est moins résistant qu'un troisième qui se rattache à deux autres, et ce dernier l'est moins

encore que celui qui est soutenu par des planchers ou des charpentes en fer ou en bois. Un mur soutenu par un autre à ses deux extrémités exige une épaisseur d'autant plus grande qu'il a plus de longueur, et, quand il est très long, son épaisseur doit être la même que s'il était isolé.

Formules de Rondelet pour l'épaisseur des murs. — 1° *Mur d'enceintes non couvertes.* — Un mur jouit d'une forte stabilité s'il a pour épaisseur le 1/8 de sa hauteur; le 1/10 lui procure une stabilité moyenne; et le 1/12, le moindre degré de stabilité qu'il puisse avoir.

Supposons qu'on ait un espace rectangulaire non couvert à entourer de murs. Soient AB et AB′ (*fig.* 292) les dimensions de ce rectangle, c'est-à-dire les longueurs des murs. Pour avoir leurs épaisseurs, au point A on élève une perpendiculaire AC égale à leur hauteur; du point C comme centre, avec un rayon égal au 1/8, au 1/10 ou au 1/12 de AC, suivant que la stabilité doit être grande, moyenne ou faible, on décrit un arc de cercle *mn*; on mène la droite CB, qui rencontre l'arc *mn* au point *o*; du point *o* on abaisse la perpendiculaire *or* sur AC, et *or* est l'épaisseur du mur dont la longueur est AB.

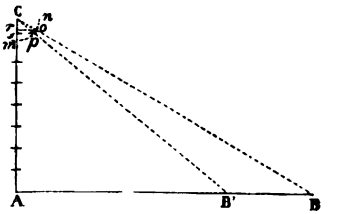


Fig. 292.

Pour avoir l'épaisseur du mur dont la longueur est AB′, il suffit de mener CB′, et du point *p*, où cette droite rencontre l'arc *mn*, d'abaisser la perpendiculaire *ps*, qui est l'épaisseur du mur dont la longueur est AB′.

Si l'espace à entourer était un polygone quelconque, on déterminerait l'épaisseur de chaque mur en opérant comme on vient de le faire pour les murs AB et AB′. Si tous les murs n'avaient pas la même hauteur, on opérerait de la même manière, mais en prenant la perpendiculaire AC égale à la hauteur de chacun d'eux.

Le triangle rectangle ABC donne $BC = \sqrt{\overline{AB}^2 + \overline{AC}^2}$. Les deux triangles ABC et C*or* étant semblables, on a :

$$or : Co = AB : CB = AB : \sqrt{\overline{AB}^2 + \overline{AC}^2};$$

d'où l'on tire, en faisant $Co = \frac{AC}{8}$,

$$or = \frac{AC}{8} \times \frac{AB}{\sqrt{\overline{AB}^2 + \overline{AC}^2}} \quad \text{ou} \quad e = \frac{h}{8} \times \frac{l}{\sqrt{l^2 + h^2}}.$$

$or = e$, épaisseur du mur en mètres ;
$AC = h$, hauteur du mur en mètres ;
$AB = l$, longueur du mur en mètres ;
$\frac{1}{8}$, coefficient qui varie de 1/8 à 1/12, suivant l'exposition du mur au vent et la nature des matériaux.

L'épaisseur d'un mur est d'autant plus grande que la hauteur et la longueur sont plus grandes.

2° *Murs isolés.* — Si la longueur l est grande par rapport à la hauteur h, ce qui peut arriver pour un *mur de clôture*, la formule précédente donne sensiblement :

$$e = \frac{h}{8}.$$

La construction graphique donne le même résultat; car, si la longueur AB est très grande par rapport à AC, CB est sensiblement parallèle à AB, et la perpendiculaire *or* diffère peu de 1/8 de AC, valeur qu'on adopterait pour un mur isolé, c'est-à-dire pour un mur qui ne serait soutenu par aucun autre.

Pour qu'un mur isolé résiste à la poussée du vent, il suffit que le moment de son poids, par rapport à son arête extérieure de contact avec la surface du sol, autour de laquelle le vent tend à le faire tourner, soit au moins égal au moment de la poussée du vent, pris également par rapport à cette arête : ainsi, pour l'équilibre statique, il suffit qu'on ait, par mètre de longueur de mur,

$$eh\delta \times \frac{e}{2} = ph \times \frac{h}{2}; \quad \text{d'où l'on tire :} \quad e = \sqrt{\frac{ph}{\delta}}.$$

p, pression du vent contre le mur, en kilogrammes par mètre carré de surface ; elle est variable suivant les lieux ; sur les bords de la mer, un vent qui vient du large peut donner $p = 278$ kilogrammes ;
ph, pression du vent contre 1 mètre de longueur de mur ; comme elle agit avec un bras de levier $\frac{h}{2}$ pour renverser le mur, son moment est $ph \times \frac{h}{2}$;
δ, poids d'un mètre cube de maçonnerie ;
eh, volume de 1 mètre de longueur de mur ; $eh\delta$ est son poids, et, comme ce poids, qui est appliqué au centre de gravité du mur, a pour bras de levier $\frac{e}{2}$, il en résulte que son moment est $eh\delta \times \frac{e}{2}$.

Faisant dans cette formule $p = 278$ kilogr., $h = 2^m,60$, et $\delta = 2.200$ kilogr., on en conclut, pour ce cas extrême, $e = 0^m,573$. La formule de Rondelet, en y faisant $h = 2^m,60$, et en supposant l très grand, comme pour un mur de clôture, donne seulement $e = 0^m,325$.

3° *Murs circulaires.* — On considère l'enceinte comme un poly-

gone régulier de 12 côtés, ou on cherche l'épaisseur d'un mur droit d'une longueur égale à la moitié du rayon de l'enceinte et soutenu à ses deux extrémités. La formule du 1° devient alors :

$$e = \frac{h}{8} \times \frac{\frac{r}{2}}{\sqrt{\frac{r^2}{4} + h^2}}.$$

r, rayon de l'enceinte.

4° *Murs des bâtiments couverts d'un simple toit.* — Rondelet considère que, les entraits des combles étant toujours disposés dans le sens de la largeur L des bâtiments, ainsi que les poutres et les solives des planchers, ils doivent servir à entretenir les murs qui les supportent; mais qu'à cause de l'élasticité et de la flexibilité des bois ils ne laissent pas de fatiguer les murs en raison de la plus grande largeur des espaces qu'ils renferment, et que c'est la largeur et la hauteur des pièces qui doivent servir à déterminer l'épaisseur des murs d'un édifice couvert d'un simple toit, quand rien ne s'appuie contre les faces de ces murs jusque sous les entraits de la ferme du comble. On prendra AB (*fig.* 292) égal à la largeur du bâtiment et non à la longueur du mur, et l'on décrira l'arc *mn* avec le 1/12 de la hauteur du mur pour rayon, au lieu de 1/8; ce qui donnera alors la formule :

$$e = \frac{h}{12} \times \frac{L}{\sqrt{L^2 + h^2}}.$$

L, largeur du bâtiment.

Si les murs qui supportent le toit étaient soutenus à une certaine hauteur par d'autres constructions ou par des toits inférieurs s'appuyant contre leurs faces extérieures, comme des appentis, ce qui a lieu dans les églises en basilique, l'arc *mn* serait décrit avec un rayon égal à la 24e partie de la somme obtenue en ajoutant à la hauteur totale h du mur la hauteur h' dont ce mur surmonte l'appui extérieur : on ferait $AC = h + h'$, h' étant la distance verticale du faîte de l'appentis à la naissance du toit qui recouvre l'édifice. La formule précédente deviendrait alors :

$$e = \frac{h + h'}{24} \times \frac{L}{\sqrt{L^2 + (h + h')^2}}.$$

5° *Murs de maisons d'habitation.* — Pour un *corps de logis simple*, dont les mêmes pièces tiennent toute la largeur ou profondeur L du bâtiment pour déterminer l'épaisseur des murs de face, on ajoute la largeur L à la moitié de la hauteur du bâtiment sous la naissance du toit, et le 1/24 de cette somme est l'épaisseur à donner à chacun des murs de face, au-dessus du socle ou pre-

mière retraite du rez-de-chaussée. Cette règle revient à la formule

$$e = \frac{L + \frac{h}{2}}{24}.$$

Pour une construction moyenne, on augmente e de $0^m,027$, et de $0^m,054$ pour une construction solide.

Pour un *corps de logis double* (*fig.* 293), c'est-à-dire pour un corps de logis divisé en deux par un mur *ab* parallèle aux murs de face, on obtient l'épaisseur à donner aux murs de face, en ajoutant la largeur $cd = L$ à la hauteur du bâtiment et en prenant le 1/48 de cette somme, ce qui revient à :

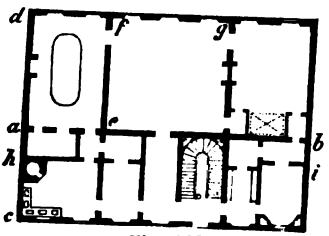


Fig. 293.

$$e = \frac{L + h}{48}.$$

Pour l'épaisseur à donner à un *mur de refend ef*, on ajoute à la longueur $dg = L'$ de l'espace que ce mur doit diviser, la hauteur H de l'étage, et on prend le 1/36 de cette somme, ce qui conduit à :

$$e = \frac{L' + H}{36}.$$

On peut ajouter $0^m,0135$ pour chaque étage au-dessus du rez-de-chaussée ; ainsi, pour trois étages, on ajouterait $0^m,0405$ à la valeur de e pour avoir l'épaisseur du mur par le bas. Cette proportion convient pour constructions en briques ou en pierres d'une dureté moyenne. Si l'on emploie des pierres tendres ou des tufs, on ajoute $0^m,027$ par étage à la valeur de e.

Pour déterminer l'épaisseur du mur *ab* qui divise l'espace compris entre les murs de face (*fig.* 293), on opère de la même manière que pour le mur *ef*. Ainsi, en supposant que *hi* ne soit qu'une légère séparation augmentant peu la solidité, on ajoute la longueur *cd* de l'espace divisé par ce mur, à la hauteur de l'étage, et on prend le 1/36 de la somme ; le résultat trouvé est l'épaisseur qu'il faut donner au mur, s'il ne s'élève que d'un étage. Pour une plus grande hauteur, on ajoute encore $0^m,0135$ par étage au-dessus du rez-de-chaussée.

Pans de bois et cloisons. — Lorsqu'à un mur on substitue un pan de bois en charpente, hourdé en plâtre et ravalé des deux côtés pour ne former qu'une seule pièce, il suffit de lui donner la moitié de l'épaisseur que devrait avoir, d'après la règle, le mur

qu'il remplace. Pour une cloison légère, qui ne porte pas de plancher, 1/4 de l'épaisseur du mur suffit.

Appuis isolés. — L'épaisseur des appuis isolés maintenus d'aplomb par les parties environnantes varie de 1/8 à 1/12 de leur hauteur.

Épaisseurs ordinaires des murs. — Les observations qui ont permis à Rondelet d'établir les formules précédentes lui ont fait reconnaître que, pour les maisons d'habitation divisées en plusieurs étages par des planchers et entrecoupées par des murs de refend ou des pans de bois, l'épaisseur des murs de face était de $0^m,41$ à $0^m,65$; celle des murs mitoyens, de $0^m,435$ à $0^m,54$, et celle des murs de refend, de $0^m,325$ à $0^m,487$.

Les mitoyens renfermant ordinairement les cheminées des deux maisons voisines, leur moindre épaisseur, $0^m,435$, est plus forte que la plus faible, $0^m,41$, des murs de face.

Voici quelques épaisseurs pratiques :

DÉSIGNATION DES MURS D'HABITATIONS ORDINAIRES de 3 à 4 étages	MURS		HAUTEURS D'ÉTAGES
	DE FACE	DE REFEND	
	(Épaisseurs usuelles)		
Murs de fondations.....	$0^m,75$ à $1^m,00$	$0^m,70$ à $0^m,85$	
Murs de caves.....	0 ,55 à 0 ,80	0 ,50 à 0 ,65	$2^m,20$ minimum
Murs du rez-de-chaussée.	0 ,50 à 0 ,65	0 ,41	3 ,25 à $5^m,00$
Murs du 1er étage.....	0 ,45 à 0 ,55	0 ,41	3 ,00 à 4 ,25
— 2e —	0 ,41 à 0 ,50	0 ,34	2 ,80 à 3 ,50
— 3e —	0 ,34 à 0 ,41	0 ,22 à 0 ,34	2 ,80
— 4e —	0 ,34 à 0 ,41	0 ,22 à 0 ,33	2 ,60
Rez-de-chaussée de bâtiments plus importants que les maisons d'habitation.	0 ,65 à 1 ,00	0 ,40 à 0 ,55	Epaisseur des murs mitoyens $0^m,55$ à $0^m,65$
Rez-de-chaussée d'édifices avec voûtes au dessus.	1 ,20 à 2 ,50	0 ,70 à 1 ,20	1 ,00 à 1 ,50

L'épaisseur des murs est inversement proportionnelle à la résistance des matériaux qui les composent. Voici les nombres proportionnels des épaisseurs : pierre de taille, 5 à 6 ; briques, 8; moellons piqués, 10 ; moellons bruts, 15.

Pour un travail soigné les épaisseurs minima sont : pierre de taille, $0^m,20$; moellons piqués, $0^m,45$; moellons bruts, $0^m,60$.

Les murs en briques ont ordinairement $0^m,22$ en haut et $0^m,33$ à la partie inférieure.

Les murs en pisé doivent avoir de $0^m,35$ à $0^m,48$ d'épaisseur. Si le pisé est à la chaux hydraulique, on peut s'en tenir à $0^m,15$ ou $0^m,17$.

Les murs en pisé de terre argileuse ne doivent être élevés qu'à une hauteur de 5 à 6 mètres; les murs en pisé à chaux ne doivent avoir que deux étages.

En se rapprochant du sol, l'épaisseur d'un mur s'accroît de 0m,03 environ par étage. Le parement intérieur du mur est donc de 0m,03 en *retraite*, sur le mur de l'étage immédiatement inférieur.

Surface occupée par les murs. — A Paris, le rapport de la superficie occupée par les murs, déduction faite des vides de portes et croisées, à celle des appartements qu'ils embrassent, est environ 1:8.

Résistance des blocs superposés. — La résistance d'une pierre augmente avec sa densité. Un mur, un pilier ne sont pas des supports homogènes ; ils sont composés d'assises superposées et indépendantes, malgré leur liaison avec le plâtre, le mortier. Ils ne résistent donc pas comme des monolithes.

Voici les résultats des expériences de Rondelet faites sur divers blocs de pierre, les uns taillés en cubes de 0m,05 de côté, les autres se présentant en forme de prismes.

Matériaux cubiques

Désignation des matériaux		Charge d'écrasement	Charge proportionnelle
		kilogr.	
Liais très dur...	1 cube.....	8.851	1,00
	2 cubes posés l'un sur l'autre..	5.411	0,61
	3 — — ..	4.780	0,54
Bagneux.....	1 cube.....	6.650	1,00
	2 cubes posés l'un sur l'autre..	4.223	0,64
	3 — — ..	3.890	0,59
Châtillon très dur.....	1 cube.....	5.138	1,00
	2 cubes posés l'un sur l'autre..	4 010	0,78
	3 — — ..	3.859	0,75
Châtillon moins dur.....	1 cube.....	3.721	1,00
	2 cubes posés l'un sur l'autre..	2.977	0,80
	3 — — ..	2.890	0,80
Châtillon dureté moyenne.....	1 cube.....	3.537	1,00
	2 cubes posés l'un sur l'autre..	2.829	0,80
	3 — — ..	2.752	0,77

Matériaux prismatiques

Désignation des matériaux		Charge d'écrasement	Charge proportionnelle
		kilogr.	
Roche dure de Châtillon.	1 prisme à base carrée, de 5 cent. de côté.....	5.164	1,00
	Même prisme composé de 4 morceaux posés l'un sur l'autre.....	4.431	0,86
	Même prisme composé de 8 morceaux.	3.698	0,72

La résistance a diminué à mesure qu'augmentait le nombre des assises superposées. La diminution de résistance a été plus grande pour les pierres dures ; pour ces dernières, la résistance

à l'écrasement s'est réduite à moitié ; elle reste égale aux $\frac{4}{5}$ pour les pierres tendres.

La charge permanente est une fraction de la charge d'écrasement, fraction variable selon la nature et l'emploi des matériaux, c'est-à-dire suivant les risques de la construction et le degré de sécurité exigé. Cette fraction est indiquée dans le tableau ci-dessous :

Nature des matériaux	Monolithe	Maçonnerie ordinaire	Pilier isolé	Voûtes
Pierre très dure	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{15}$	$\frac{1}{23}$	$\frac{1}{60}$
Pierre demi-dure.	$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{13}$	$\frac{1}{19}$	$\frac{1}{50}$
Pierre tendre et moellon appareillé à mortier hydraulique..	»	$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{15}$	$\frac{1}{40}$
Moellon ordinaire	»	$\frac{1}{20}$	$\frac{1}{30}$	$\frac{1}{80}$

Répartitions des pressions sur les joints dans les maçonneries. — Il peut arriver que la pression, au lieu d'agir *uniformément* sur toute la surface des matériaux ou sur une petite étendue de cette surface, agisse à peu près sur toute la surface, mais avec une intensité différente en chaque point.

AB étant un joint plan quelconque (*fig.* 294), et R la résultante des pressions normales que l'assise supérieure exerce sur l'assise inférieure, proposons-nous de déterminer l'intensité de cette pression normale en un point quelconque du joint. On admet, comme dans la résistance des solides, que par l'effet de la compression la surface du joint s'est légèrement déplacée en restant plane, et qu'en chaque point se produit une réaction proportionnelle au déplacement. Ainsi, le plan AB étant descendu en A'B', une droite telle que *mm'* mesure la pression en *m*. La résultante R de toutes les pressions partielles passe par le centre de gravité du plan comprimé AB, puisqu'en chaque point la réaction est égale et directement opposée à la pression. Si R passe par le centre de gravité du plan AB, il en résulte que A'B' est parallèle à AB ; si elle est appliquée en tout autre point, A'B' fait avec AB un angle tel que R passe par le centre de gravité de ABB'A'.

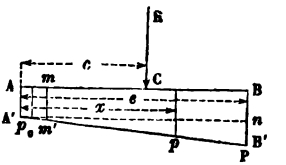


Fig. 294.

Si, comme cela arrive ordinairement, le joint AB est un rectangle, appelant :

e, longueur du joint AB;
c, distance AC de la résultante R au point A, pris pour origine des coordonnées ;
p_0, P, pression par mètre carré au point m dont l'abscisse est x,
d = BC,

on a (la pression p étant proportionnelle au déplacement mm') :

$$p = p_0 + \frac{P - p_0}{e} x. \qquad (1)$$

Sur une étendue superficielle (1 mètre) $\times$ dx du joint AB, dx étant mesuré suivant AB et 1 mètre étant la dimension dans le sens perpendiculaire au plan de la figure, la pression sur l'élément superficiel a pour expresion :

$$p_0.dx + \frac{P - p_0}{2} x.dx,$$

dont l'intégrale donne la pression totale R sur le joint AB, pression R qui a pour valeur :

$$p_0 e + \frac{P - p_0}{2} e = R. \qquad (2)$$

Cette pression R est mesurée par l'aire du trapèze ABB'A' qui se compose des figures :

$$\textit{Rectangle } ABnA' = p_0 e,$$

$$\textit{Triangle } A'nB' = \frac{P - p_0}{2} e.$$

On détermine p_0 et P par la considération que la somme des forces, représentée par le trapèze ABB'A' ou par le rectangle ABnA' plus le rectangle A'nB', est égale à R, et que leur moment pris par rapport au centre de gravité C est nul, ce qui donne les deux équations :

$$p_0 e + \frac{P - p_0}{2} e = R, \qquad (2')$$

et

$$\int_0^e \left(p_0 + \frac{P - p_0}{e} x\right)(x - c)\, dx = 0,$$

ou

$$p_0 (e - 3c) + P (2e - 3c) = 0. \qquad (3)$$

De l'équation (2) on déduit :

$$P = \frac{2R}{e} - p_0. \qquad (4)$$

Substituant cette valeur de P dans l'équation (3), on conclut :

$$p_0 = 2R \frac{2e - 3c}{e^2} \text{ en A.} \qquad (A)$$

Remplaçant p_0 par cette valeur dans l'équation (4), on en tire :

$$P = 2R \frac{3c - e}{e^2} \text{ en B,} \qquad (B)$$

d'où :

$$\frac{P}{p_0} = \frac{3c - e}{2e - 3c}. \qquad (A')$$

Enfin, substituant ces valeurs de p_0 et P dans l'équation (1), il vient pour la pression par mètre carré en un point quelconque dont l'abscisse est x :

$$p = \frac{2R}{e}\left[2 - \frac{3c}{e} + \left(\frac{6c}{c} - 3\right)\frac{x}{e}\right]. \qquad (C)$$

Si l'on fait $d = e - c$, et en même temps si l'on fait $a = e$, on obtient pour la pression maxima (par mètre carré) en B :

$$p = \frac{2R}{e}\left[2 - \frac{3e - 3l}{e} + \left(\frac{6e - 3e}{e}\right)\right] = \frac{2R}{e^2}(2e - 3d)$$

ou

$$p = \frac{2R}{e}\left(2 - \frac{3d}{e}\right).$$

Si $c = \frac{e}{2}$, c'est-à-dire si la résultante passe par le milieu du joint, les équations (C), (B), (A) donnent respectivement :

$$p = \frac{R}{e}. \quad P = \frac{R}{e}. \quad p_0 = \frac{R}{e}. \qquad (a)$$

Ainsi, dans ce cas, on a :

$$p = P = p_0 = \frac{R}{e},$$

c'est-à-dire que la pression est uniforme dans toute l'étendue du joint et égale à la pression moyenne.

Les formules (B) et (A) montrent qu'à mesure que c augmente, P en B augmente, et p_0 en A diminue, mais qu'on a constamment :

$$P + p_0 = \frac{2R}{e} = \textit{constante}.$$

Quand c atteint la valeur $\frac{2}{3}e$, les équations (B) et (A) donnent respectivement :

$$P = \frac{2R}{e} \quad \text{et} \quad p_0 = 0; \qquad (b)$$

c'est le cas de la figure 295, où le trapèze figuratif des résistances

se réduit à un triangle ABB'. Ainsi, pour une même valeur de R, la pression P est deux fois plus grande que dans le cas de la formule (*a*); et pour une même valeur de P, celle qu'on ne doit pas dépasser dans la pratique, par exemple, la résultante R est seulement moitié de celle relative à ce même cas de la formule (*a*).

Quand c dépasse $\frac{2}{3}e$, comme dans la figure 296, la compression n'agit plus que sur la partie NB ; dans la partie AN, la cohésion de la maçonnerie agit seule, et puisqu'elle est négligeable, on ne peut admettre les valeurs de p et p_0 qui s'y rapportent d'après

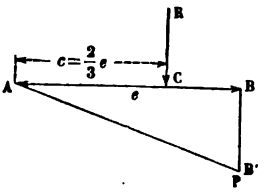


Fig. 295.

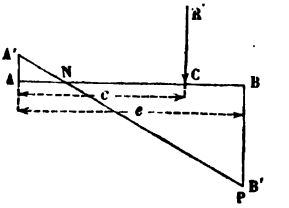


Fig. 296.

les formules (C) et (A). Ainsi la longueur du joint est réduite à $NB = 3(e - c)$; sa réaction, exprimée par l'aire du triangle NBB' ; et la formule (*b*) donne :

$$P = \frac{2R}{3(e - c)}, \quad \text{d'où :} \quad R = \frac{3}{2} P (e - c).$$

La partie $AN = e - 3(e - c) = 3c - 2e$ devient inutile. De plus, le tiers de la partie NB est nuisible ; car, si dans la valeur précédente de P on fait $BC = e - c = d$, il vient pour la pression maximum en B :

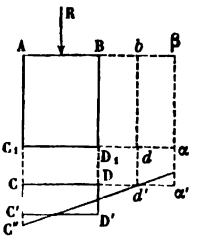


Fig. 297.

$$P = \frac{2}{3} \times \frac{R}{d},$$

tandis que, si le joint n'avait qu'une longueur $2d$, la pression serait plus faible en ce même point et égale à :

$$P' = \frac{1}{2} \times \frac{R}{d}.$$

Ces valeurs de P et P' étant entre elles comme 4 : 3, l'excès de longueur du joint amène donc une pression à la paroi plus grande dans le rapport de 4 à 3.

Si, par exemple, une très forte charge R est appliquée au milieu du massif ABD_1C_1 (*fig.* 297), les pressions en chaque point

de la base sont mesurées par des lignes telles que CC′ et DD′, c'est-à-dire qu'elles sont partout égales. Si, pour diminuer ces pressions, on élargit le massif d'un seul côté en y ajoutant le massif $BbdD_1$, tel que $Bb = \frac{1}{2}$ AB, les pressions sont limitées par la ligne inclinée $C''d'$, qui donnera en C une pression proportionnelle à :

$$CC'' = \frac{4}{3} CC'.$$

Si l'on augmente encore la largeur du massif jusqu'en β, il n'y aura pas de pression sur $d\alpha$, et le massif additionnel $b\beta\alpha d$ tendra à être soulevé et à se détacher de l'ancien suivant la direction bd.

Remarque pratique. — Dans l'application, si la distance CB (*fig.* 296) est plus petite que le 1/3 du joint AB, on admet que la longueur intéressée à la répartition de la pression R est $3CB = d$. Il en résulte que la pression maxima en B est par mètre carré :

$$P = \frac{2R}{3d}.$$

Il est d'usage que la distance d de la résultante R à l'arête B, la plus proche, ne soit pas moindre que le 1/4 du joint AB. S'il en est ainsi, il faut nécessairement augmenter la longueur AB du joint.

Poussée des terres. — Murs de soutènement. — L'épaisseur à donner à ces murs varie suivant la poussée des terres à soutenir, poussée qui dépend de l'inclinaison du talus affecté par ces terres lorsqu'elles sont abandonnées à elles-mêmes.

Nous empruntons à la *Semaine des Constructeurs* (tome IX), l'exposition théorique élémentaire et aussi en partie les exemples pratiques se rapportant au calcul de la poussée des terres.

Premier cas. — Le cas le plus ordinaire est celui d'un remblai se terminant à un plan horizontal AC (*fig.* 298 et *fig. a*) coïncidant avec le dessus du mur qui soutient ledit remblai.

Admettons qu'un prisme de terre ABC soit sur le point de se détacher, en glissant sur le plan oblique BC.

Soit (*fig. b*) O le point où se rencontrent le poids P du prisme et la réaction R sur le plan BC. Pour que l'équilibre existe, la poussée horizontale H sur la paroi AB doit aussi passer en ce point O. Ces trois forces doivent former un triangle rectangle Oab.

La réaction R du plan BC peut se décomposer en une force normale N, et une force parallèle à BC. Celle-ci est la résistance au glissement, qui se produit le long de BC. Elle sera au plus égale à fN en appelant f le coefficient de frottement des terres. Ceci veut dire que l'angle R avec N est au plus égal à l'angle φ de frottement, ou à l'angle du talus naturel des terres.

Analysons ce qui se passe lorsque les terres sont sur le point

de s'ébouler suivant BC, c'est-à-dire lorsque la tendance au glissement va l'emporter sur la résistance due au frottement. L'angle de R et de N est alors égal précisément à φ.

On voit sur la figure même que l'angle formé par P et R est égal à $90° - \varphi - \beta$, en appelant β l'angle du plan de glissement BC avec la verticale.

Or, si nous menons CD faisant avec BC l'angle φ, on voit que

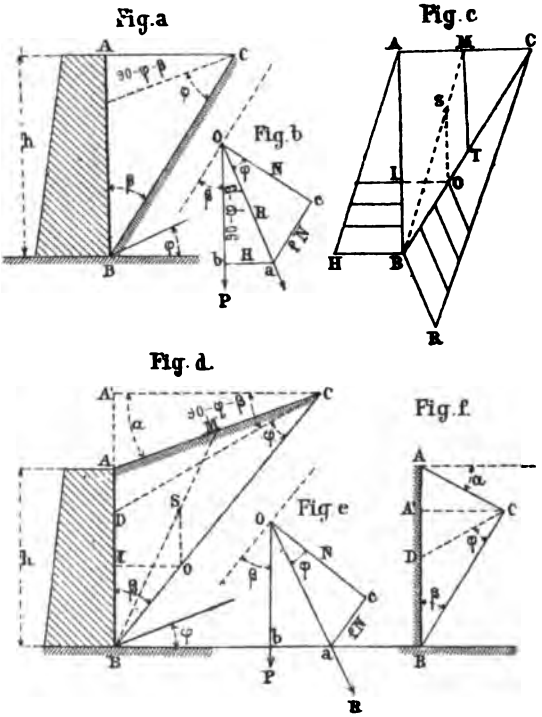


Fig. 298.

le triangle ACD est semblable au triangle O*ab* des trois forces en équilibre. D'où l'on conclut facilement :

$$H = P \times \frac{AD}{AC} = \frac{hd}{2} \times AD, \qquad (1)$$

en appelant h la hauteur du mur, et d la densité des terres, et en remarquant que $P = \frac{AC \times h}{2} \times d$.

La longueur AD est donc proportionnelle à la poussée H. La

construction précédente permet de déterminer, par un tracé graphique, la poussée qu'exercent des terres glissant suivant le plan BC.

Il reste à rechercher quel est celui des plans BC qui donne la plus grande poussée. On démontre que c'est le plan obtenu en menant BC bissectrice de l'angle complémentaire de φ. On a alors pour l'expression de la poussée horizontale :

$$H = \frac{h^2 d}{2} \times \tang^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right). \qquad (2)$$

Détermination du point d'application de la poussée H. — La poussée horizontale H du remblai sur une hauteur quelconque h du mur étant proportionnelle à h^2, cela veut dire que les poussées partielles sur chaque élément de hauteur sont représentées par les ordonnées d'un triangle ABH (*fig. c*). La résultante passe par le centre de gravité de ce triangle et, par conséquent, au tiers I de la hauteur h ou AB.

Les réactions R le long du plan de glissement BC se répartissent suivant une loi analogue; elles sont figurées, à chaque hauteur, par les ordonnées d'un triangle CBR (*fig. c*).

Le poids du prisme ABC est appliqué en S, centre de gravité du prisme, au tiers de BM (M étant le milieu de AC); le poids vertical passe donc en O, au tiers de BC, puisque l'on a (T étant le milieu de BC) :

$$\frac{BO}{BT} = \frac{BS}{BM} = \frac{2}{3}, \quad BT = \frac{BC}{2};$$

d'où :

$$BO = \frac{2BT}{3} = \frac{BC}{3}.$$

La résultante horizontale H des poussées du remblai passe en I au tiers de AB et par conséquent en O. Ce point O est donc celui où concourent la résultante H et celle P du poids du prisme de terre ABC.

Deuxième cas. — *Examinons le cas d'un remblai à surface inclinée.* — Si l'on admet, d'après les expériences de Gobin, que la poussée reste horizontale, lors même que la surface supérieure du remblai cesse d'être horizontale, le procédé à suivre graphiquement pour déterminer la poussée reste exactement le même que ci-dessus.

Soit AC (*fig. d*) la surface inclinée d'un angle α. Autour d'un point O (*fig. e*) doivent s'équilibrer les forces P, H et R comme dans le premier cas. Si l'on décompose la réaction R des pressions du remblai en force normale N au plan BC et en une force fN parallèle à BC (celle-ci étant égale à la limite du frottement fN), la figure de composition des forces reste la même que précédem-

ment. Abaissant de C une perpendiculaire CA′ sur la verticale BA et menant CD faisant face avec BC l'angle φ, on voit que le triangle A′CD est semblable au triangle O*ab* des trois forces P, H et R (*fig. e*). C'est donc A′D qui mesure proportionnellement la poussée, et non plus AD, comme dans le premier cas. On a :

$$H = P \times \frac{A'D}{A'C} = \frac{hd}{2} A'D, \qquad (3)$$

et pour le poids du prisme ABC :

$$P = \frac{h \times A'C}{2} \times d.$$

On aura donc ainsi le moyen graphique de mesurer la poussée horizontale H sur le plan AB.

Si l'on veut recourir au calcul, il suffit d'évaluer A′D ; on trouve :

$$A'D = \frac{h \operatorname{tg} \beta}{\operatorname{tg}(\varphi + \beta)} \times \frac{1}{1 - \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \beta}. \qquad (4)$$

D'où l'on conclut :

$$H = \frac{h^2 d}{2} \frac{\operatorname{tg} \beta}{\operatorname{tg}(\varphi + \beta)} \times \frac{1}{1 - \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \beta}. \qquad (5)$$

Telle est la poussée exercée sur la paroi du mur AB par le remblai ABC, lorsque le plan de glissement BC fait avec la verticale l'angle β. Il reste, comme dans le premier cas, à chercher l'angle β qui donne la plus grande poussée horizontale H.

On peut analytiquement trouver le maximum de la valeur (5) ; mais il est suffisamment approximatif de s'en tenir au procédé graphique : On tracera plusieurs lignes telles que BC un peu plus et un peu moins inclinées que la bissectrice de l'angle $90 - \varphi$, parce que le maximum cherché ne s'écarte pas beaucoup de cette dernière position, si l'angle α n'est pas très grand. Sur chacune de ces lignes on trace la ligne CD faisant avec BC l'angle α ; en même temps, de chaque point C on abaisse une perpendiculaire sur AB (*fig. d*).

On mesure chacune des longueurs telles que A′D, et il est facile de vérifier quelle est la plus longue des lignes A′D. C'est celle-là qui correspondra à l'angle β qu'il vient de choisir.

Cela fait, et cette longueur A′D définitive étant mesurée, il suffit de la multiplier par $\frac{hd}{2}$, pour avoir la valeur de la poussée cherchée, d étant la densité des terres, et h la hauteur du mur.

On remarquera que, comme dans le premier cas, le point O où convergent les trois résultantes H, P et R, est toujours situé au tiers de BC ; car on a comme dans le premier cas :

$$BO = \frac{2BT}{3} \quad \text{et} \quad BT = \frac{BC}{2};$$

d'où :

$$BO = \frac{CB}{3}.$$

Ainsi, la poussée horizontale H est appliquée en I au tiers de la hauteur h du mur ; et la répartition des réactions R le long du plan BC se fait comme dans le premier cas.

Si la surface du remblai est inclinée dans l'autre sens (*fig. f*), la construction reste la même.

Quant à la formule qui exprime la poussée H, si l'on veut en faire usage, il suffit de changer le signe de α dans la formule (5), ce qui donne :

$$H = \frac{h^2 d}{2} \times \frac{\operatorname{tg}\beta}{\operatorname{tg}(\varphi + \beta)} \times \frac{1}{1 + \operatorname{tg}\alpha \operatorname{tg}\beta}. \qquad (6)$$

Recherche graphique du plan de rupture. — La recherche de l'inclinaison à donner à BC pour trouver la plus grande poussée possible pourra se faire graphiquement comme il suit : Soit MABN (*fig.* 299) le profil du mur dont la face AB est ici inclinée, et AEF le profil du remblai des terres soutenues par ledit mur. Traçons diverses obliques BC_1, BC_2, BC_3, etc., formant entre elles des angles égaux, ces lignes représentant des plans différents de rupture. Cherchons quel est celui de ces plans qui détermine avec le plan BA du mur le prisme de terre dont la poussée sur ce mur BA soit maximum. Pour un de ces plans BC_2, par exemple, le prisme correspondant aurait pour base le quadrilatère $BAEC_2B$. On transforme ce quadrilatère en un triangle équivalent ; ce qui se fait en cherchant sur le prolongement de BC_2 un point C'_2 tel que l'on ait :

$$\textit{triangle}\ BAC'_2 = \textit{quad.}\ BAEC_2.$$

On obtiendra la hauteur de ce triangle BAC'_2 en divisant la surface du quadrilatère par la moitié de BA. Cette hauteur permettra de déterminer le sommet C'_2 (voir la *fig.* C). Du sommet C'_2, on mènera l'horizontale C'_2A_2 ; et en traçant C'_2D_2, faisant avec BC_2 l'angle φ, on obtient la longueur A_2D_2, qui est proportionnelle à la poussée normale à BA ; laquelle poussée est celle du prisme considéré $BAEC_2B$. Si l'on se reporte à ce qui a été dit, cette poussée a pour expression, formule (1) :

$$H = \frac{hd}{2} \times A_2D_2,$$

d étant égal à BA.

On aura donc le maximum de cette expression en prenant pour A_2D_2 la plus grande valeur possible. Cette plus grande valeur se trouvera graphiquement en répétant la construction précédente pour divers plans, comme il a été dit ci-dessus. Pour

épargner les tâtonnements, prenons (*fig.* B), sur une horizontale, des intervalles égaux A_1A_2, A_2A_3, etc., représentant les angles successifs des plans de rupture et portons en ordonnées les longueurs A_1D_1, A_2D_2, A_3D_3, etc., égales à celles correspondantes et déterminées sur la droite BA, en réunissant par une courbe continue les points D_1, D_2, D_3, ... ; l'ordonnée la plus grande est celle qui correspond à la poussée maximum et à une tangente hori-

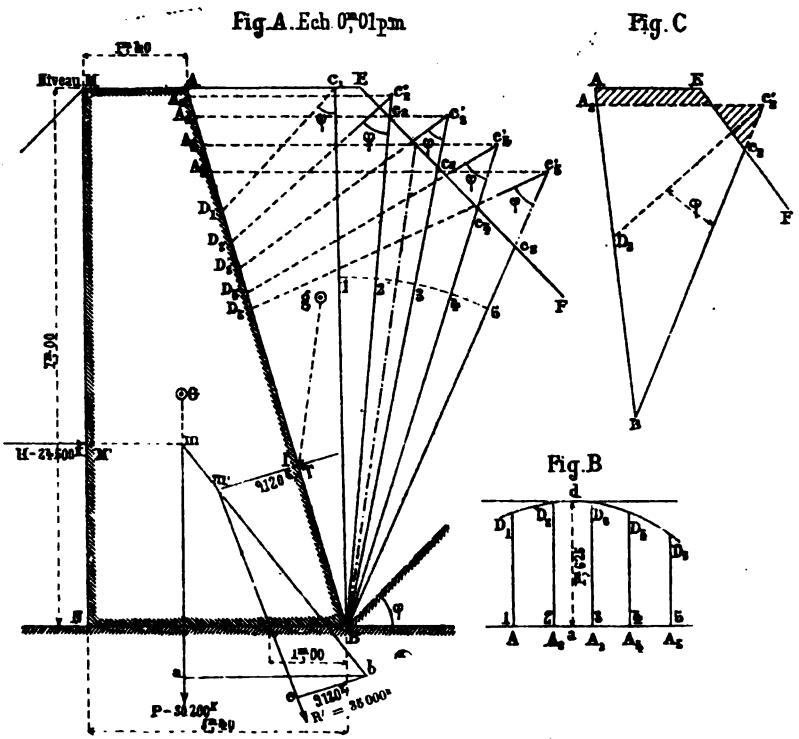


Fig. 299.

zontale à la courbe. La figure donne pour ce maximum qui répond à un plan Bφ compris entre BC_2 et BC_3 :

$$ad = 1^m,625.$$

D'autre part, BA = h = 7m,50 ; prenons d = 1.500 kilogr. pour le poids du mètre cube du remblai ; par suite, la poussée H normale au plan BA du mur MABN est oblique et a pour valeur T = 9.120.

Calcul d'un réservoir en maçonnerie. — Soit à vérifier l'épais-

seur d'un réservoir construit en mortier de chaux hydraulique et moellons pesant 1.800 kilogr. le mètre cube (*fig.* 299).

Ce réservoir a une profondeur de 7 mètres. Soit ABMN le profil du mur du réservoir, lequel mur reçoit sur la droite la poussée des terres d'un remblai terminé au profil AEF. A gauche, le bassin est rempli d'eau jusqu'au plan horizontal en M.

On sait que la pression produite sur la paroi intérieure MN d'un réservoir d'eau est la somme des pressions élémentaires produites sur cette paroi. Sur chaque élément superficiel de la paroi, la pression de l'eau est mesurée par le poids d'un prisme d'eau ayant pour base l'élément considéré et pour hauteur la distance verticale qui sépare l'élément du niveau supérieur de l'eau. Il en résulte que la pression totale sur la paroi verticale MN, pour une longueur de 1 mètre, dans le sens perpendiculaire au plan de la figure, est exprimée par le poids d'un prisme d'eau, qui a pour base un triangle rectangle isocèle dont la hauteur est égale à la profondeur du bassin et dont l'hypoténuse est à 45°. Dans le cas actuel ce poids a pour expression :

$$H = \frac{7 \times 7}{2} \times 1.000 = 24.500 \text{ kilogr.}$$

Cette pression est horizontale et est appliquée au tiers de la hauteur NM. Le poids du mur AMNB, calculé à raison de 1.800 kilogr. le mètre cube, est P = 30.200 kilogr. Son centre de gravité est G. Composons ces deux forces H et P; ce qui donne une résultante de mb = 38.000 kilogr. D'autre part, la poussée normale du remblai a été trouvée ci-dessus égale à :

$$T = 9.120 \text{ kilogr.}$$

Il reste à composer les forces T et mb = 38.000 kilogr. ; ce qui donne la résultante définitive : R' = 35.000 kilogr. qui passe à 1 mètre environ de l'arête B.

Par suite, la charge maxima par mètre carré près de cette arête est :

$$P = \frac{2R}{e}\left(2 - \frac{3d}{e}\right).$$

On a :

$$R = 35.000 \text{ kilogr.},$$
$$NB = e = 3^{m},40,$$
$$d = 1^{m},00,$$

d'où

$$P = 18.150 \text{ kilogr.}$$

par mètre carré ou $1^{kg},8$ par centimètre carré. Cette pression est faible, et l'on pourrait réduire un peu l'épaisseur du bassin à sa

base à 3 mètres. Il faudrait vérifier cette épaisseur comme la précédente.

Solution des murs de terrasse ou de soutènement par le calcul (*fig.* 300). — Soit (*fig.* 300, *eg*) le talus naturel des terres à soutenir. Admettons que le prisme *ceg* soit d'un seul bloc, il se maintiendra en équilibre sans exercer aucune pression contre le mur *bcef*; mais un autre prisme *cei* exercera sur le mur une poussée due à son poids et diminuée par le frottement des terres sur le talus *ei* et par la cohésion (cette cohésion peut être considérée comme nulle pour les terres remuées, comme le sont généralement celles qu'on rapporte derrière les murs de soutènement). On démontre, par des calculs que nous ne pouvons rapporter ici, que le prisme de plus grande poussée est déterminé par la bissectrice de l'angle formé par la verticale *ce* et le talus naturel *eg*.

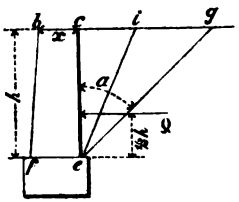


Fig. 300.

Soit l'angle $cei = \frac{1}{2}\,a$, le prisme *cei* est celui de plus grande poussée, et l'on a la relation :

$$Q = \frac{\delta h^2}{2} \operatorname{tang}^2 \frac{1}{2}\,a,$$

dans laquelle :

Q = poussée des terres contre le parement vertical *bc*;
δ, poids du mètre cube de terre ;
h, hauteur *bc* des terres derrière le mur ;
α, angle de la verticale *bc* avec le talus naturel *ce*.

Dans le cas où le frottement et la cohésion sont nuls, ce qui a lieu pour les liquides, l'angle α est droit ; on a $\operatorname{tang} \frac{1}{2}\,\alpha = 1$, et, par suite,

$$Q = \frac{\delta h^2}{2}.$$

Il s'agit de déterminer le point d'application de la poussée totale Q. Comme on démontre que cette poussée totale sur le parement du mur peut être représentée par la surface d'un triangle dont la hauteur est h, et dont la base et les parallèles à cette base représentent les pressions au pied du mur aux divers points respectifs de la hauteur de son parement, il en résulte que la résultante Q de toutes les pressions est appliquée au centre de gravité du triangle, c'est-à-dire à 1/3 de h à partir du pied *c* du mur.

Il y aura équilibre statique quand le moment de la force

pris par rapport à l'arête extérieure du mur, sera égal au moment du poids du mur, pris par rapport à cette arête, c'est-à-dire quand on aura :

$$\frac{\delta h^3}{6}\operatorname{tang}^2\frac{1}{2}\alpha = \delta'\left[\frac{nh^2}{2}\times\frac{2nh}{3} + hx\left(nh + \frac{x}{2}\right) + \frac{n'h^2}{2}\left(nh + x + \frac{1}{3}n'h\right)\right]; \quad (b)$$

équation du second degré qui donne la valeur x, laquelle est, en simplifiant :

$$x = h\left[-\left(n + \frac{n'}{2}\right) \pm \sqrt{\frac{\delta}{3\delta}\operatorname{tang}^2\frac{1}{2}\alpha + \frac{n^2}{3} - \frac{n'^2}{12}}\right].$$

δ, poids du mètre cube de maçonnerie ;
n, fruit du parement extérieur par mètre de hauteur du mur ;
$\delta\ \frac{nh^2}{2}\times\frac{2nh}{3}$, moment du massif formant le fruit du parement extérieur ;
x, épaisseur du mur à sa partie supérieure ;
$\delta hx\left(nh + \frac{x}{2}\right)$, moment du massif de mur compris entre ceux qui forment les fruits ;
n', fruit par mètre de hauteur du parement intérieur du mur ;
$\delta\ \frac{n'h^2}{2}\left(nh + x\frac{1}{3}n'h\right)$, moment du massif de maçonnerie formant le fruit du parement intérieur.

Nous avons négligé le prisme de terre compris entre le parement intérieur et la verticale passant par le pied du mur ; mais, comme le parement intérieur se fait par retraites horizontales, ce prisme de terre ajoute par son poids à la stabilité du mur au lieu d'y nuire.

Lorsque les parements du mur sont verticaux, les valeurs de n et n' sont nulles, et la formule précédente devient :

$$x = h\operatorname{tang}\frac{1}{2}\alpha\sqrt{\frac{\delta'}{3\delta}}.$$

Lorsque le mur résiste à un fluide, on a $\operatorname{tang}\frac{1}{2}\alpha = 1$, et, par suite,

$$x = h\sqrt{\frac{\delta'}{3\delta}}.$$

Si le prisme de plus grande poussée était chargé d'un cavalier, à la quantité $\frac{\delta h^2}{2}$ il faudrait ajouter ph dans la valeur de Q (p, poids du cavalier sur l'unité de surface du terrain) ; de sorte que le moment de cette poussée deviendrait :

$$\frac{h^2}{6}\operatorname{tang}^2\frac{1}{2}\alpha\,(\delta h + 2p),$$

et la formule (*b*) donnerait :

$$x = h\left[-\left(n+\frac{n'}{2}\right) \pm \sqrt{\frac{\tang^2\frac{1}{2}\alpha}{3\delta'}\left(\delta+\frac{2p}{h}\right)+\frac{n^2}{3}-\frac{n'^2}{12}}\right].$$

Le mur doit pouvoir résister non seulement au renversement, mais aussi au glissement sur sa base ; il faut donc que la poussée Q des terres soit moindre que le frottement de glissement augmenté de la cohésion entre le mur et sa base, et que, par conséquent, pour l'équilibre statique, on ait :

$$\frac{\delta h^2}{2}\tang^2\frac{1}{2}\alpha = h\delta'\left(\frac{nh^2}{2}+hx+\frac{n'h^2}{2}\right)+c\,(nh+x+n'h)\,;$$

d'où l'on tire :

$$x = \frac{h^2}{2}+\frac{\delta\,\tang^2\frac{1}{2}\alpha-(n+n')\left(k\delta'+\frac{2c}{h}\right)}{k\delta' h+c}.$$

La valeur de l'angle α, sous lequel les terres coulantes s'éboulent, se détermine directement, en creusant verticalement la terre, après en avoir dressé la surface. Pour le sable très sec on a $\alpha = 60°$; pour la terre sèche et pulvérisée, $\alpha = 46°$; pour la terre humectée, $\alpha = 54°$, et pour les terres les plus fortes et les plus denses, $\alpha = 35°$; valeurs qui correspondent respectivement, pour des profondeurs d'excavation représentées par 1, à des bases de talus 1,78, 1,34, 1,05 et 0,69.

Quand le mur descend au-dessous du sol sur les deux faces, comme cela a généralement lieu, on conçoit que la butée des terres contre la seconde face s'oppose au renversement et au glissement. On calculera cette butée à l'aide de la formule (*a*), dans laquelle on remplacera la hauteur h, comptée depuis le pied de la fondation, par la profondeur h_1 de la fondation, et la différence entre les valeurs des moments de Q et Q', pris par rapport au pied de la fondation du mur, formera le premier membre de la formule (*b*), qui fournira encore l'épaisseur x. Le frottement du mur sur sa base devra encore être supérieur à Q — Q'. Il y aurait lieu encore de tenir compte du frottement des terres, frottement qui s'ajoute à Q' pour s'opposer au mouvement du mur.

Quand les terres ont de la cohésion, la valeur de la poussée horizontale est :

$$Q = \frac{\delta h}{2}\tang^2\frac{1}{2}\alpha\,(h-h').$$

h', profondeur à laquelle on a creusé les terres à pic avant l'éboulement, la surface des terres ayant été dressée horizontalement.

On déterminerait l'épaisseur à donner au mur pour résister à

cette valeur de Q, de la même manière que quand la cohésion est nulle ; il suffirait de remplacer dans les formules précédentes la valeur de Q, formule (*a*), par cette nouvelle.

Les formules précédentes fournissent l'épaisseur à donner au mur pour qu'il y ait équilibre statique ; cette épaisseur ne suffit pas dans la pratique, et l'on doit l'augmenter, pour obtenir une stabilité convenable ; l'arête autour de laquelle le mur tend à tourner s'enfonce avec d'autant moins de peine, et le renversement est d'autant plus facile que la fondation est plus compressible.

Dans le cas où les terres qu'on rapporte derrière un mur sont susceptibles de changer d'état, soit par leur contact avec l'eau, soit par toute autre circonstance, on doit y avoir égard.

Lorsque le mur est établi sur un mauvais sol, il convient que le moment de stabilité du mur pris par rapport à la ligne en passant par le milieu de la base du mur fasse équilibre au moment de la poussée des terres; car alors le mur pressant également en tous les points de sa base, le tassement est aussi uniforme que possible ; on obtient cette disposition en donnant un grand fruit au parement extérieur.

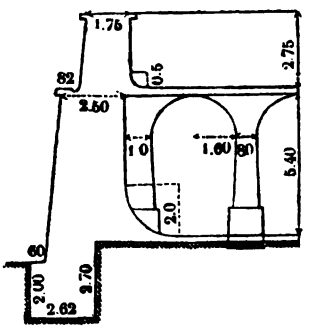


Fig. 301.

Profil des murs des bassins de Passy (*fig.* 301, *à l'échelle de* 1/300. Un bassin de $2^m,75$ de profondeur est découvert et a pour fond une série de voûtes d'arête formant le ciel d'un autre bassin de $5^m,40$ sous clef.

Épaisseur à la clef des voûtes d'arête en plein cintre formant le fond du réservoir supérieur	$0^m,33$
Distance d'axe en axe des piliers supportant les voûtes d'arête	4 ,00
Côté des piliers au niveau des naissances des voûtes d'arête	0 ,80
Côté des piliers au niveau des dés	1 ,00
Hauteur des dés	1 ,00
Côté des dés en haut $1^m,20$, au pied	1 ,30
Saillie des pilastres accolés aux murs, en regard des piliers, au niveau des naissances des voûtes d'arête	1 ,00
Épaisseur du radier, qui repose directement sur le sol, qui est très solide	0 ,30
Profondeur des fondations des piliers au-dessous de la face supérieure du radier	0 ,50

Aucune terre ne s'appuie contre les murs, dont les parements

intérieurs sont verticaux, tandis que ceux extérieurs ont un fruit de 1/10. Le fond supérieur se raccorde avec le parement vertical par un congé de 0m,50 de rayon, et le fond inférieur par un congé de 2 mètres de rayon.

Afin d'augmenter le moment de résistance du mur total, le parement de la partie supérieure est en porte-à-faux de 0m,23 sur le parement de la partie inférieure. C'est pour la même raison que la fondation a été reculée ; on a proportionné sa largeur à la pression supportée.

Les parements sont en meulière et le reste en moellons, le tout hourdé en mortier hydraulique. Les parties en contact avec l'eau sont recouvertes d'un enduit en ciment de Vassy de 0m,03 d'épaisseur moyenne.

Murs du réservoir de Saint-Cloud. — Au réservoir de Saint-Cloud pour l'adduction des eaux de la Vigne et de Verneuil, construit de 1893 à 1896, les murs d'enceinte sont du type imaginé par M. Humblot pour les bajoyers de l'écluse du canal Saint-Denis.

Pour ces bajoyers, les murs du côté du sas étaient soumis à des pressions horizontales de l'eau qui variaient de 6 tonnes, pour l'écluse vide, à 90 tonnes pour l'écluse pleine. Du côté de la rive, ils étaient soumis à la poussée des terres, qui était relativement faible quand la terre était sèche, mais qui pouvait devenir considérable quand elle était mouillée. L'eau traversait les maçonneries, venait mouiller les terres derrière le bajoyer et y séjournait quand on vidait l'écluse. Un fait analogue devait se produire pour le réservoir de Saint-Cloud.

Donc, à moins de donner aux murs des largeurs considérables à la base, si l'on fait ces murs pleins, résistant simplement par leur propre poids, la résultante du poids de la maçonnerie et des forces horizontales dues tant à la poussée de l'eau qu'à celle des terres, vient passer assez près de l'arête extérieure des murs quand l'écluse ou le réservoir sont pleins. Quand ils sont vides, cette même résultante vient passer assez près du bord intérieur. Il en résulte qu'à chaque éclusée, ou bien dans le cas du réservoir, quand il est vide ou plein, le sol de fondation est forcément comprimé dans des parties différentes. Si donc le sol de fondation est un peu compressible, il est à craindre qu'un léger tassement ne se produise, alternativement, à droite et à gauche de l'axe du mur. Ce tassement alternatif se révélerait par une oscillation du mur, cause de ruine pour la maçonnerie.

Pour diminuer les effets de la variation de la poussée horizontale et la charge sur le sol de fondation, on a cherché à reporter une partie de cette poussée sur la paroi verticale de la fouille. Celle-ci a été ouverte franchement verticale du côté des terres et à 3 mètres en arrière du parement intérieur. Les terres

ont été fortement maintenues pour éviter tout mouvement.

La fouille ainsi faite, on a monté le mur en maçonnerie entièrement plein jusqu'à une faible hauteur au-dessous du radier. A partir de ce point, le mur a été décomposé en deux parties ; à côté des terres, on a construit un mur de soutènement muni de barbacanes, les terres restant toujours rigoureusement bloquées; puis, du côté du réservoir, on est venu appliquer, contre ce mur de soutènement formant pour ainsi dire radier de fondation, une sorte de viaduc renversé, formé par des voûtes à génératrices verticales, reportant latéralement, par l'intermédiaire de piles, la poussée sur le mur de soutènement et, par suite, sur les terres.

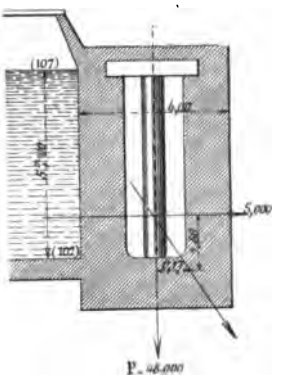


Fig. 302.

Le mur est ainsi évidé dans son épaisseur et toutes les ouvertures de voûtes sont mises en communication dans l'intérieur des piles, de façon à laisser les eaux d'infiltration s'écouler librement, et en même temps à permettre la visite des maçonneries. De fortes culées, ne comportant que le vide de communication, ont été, en outre, ménagées en tous les points où les contreforts intérieurs reportaient la poussée des voûtes de la couverture.

Les vides ainsi ouverts dans les murs ont été recouverts par des voûtes à génératrices horizontales s'appuyant sur les mêmes piliers et les mêmes culées.

Le mur offre, sur 4 mètres d'épaisseur, un volume de 24 mètres cubes par mètre courant, au maximum (*fig.* 302).

Abstraction faite de la poussée des terres, la pression par centimètre carré sur la base, le réservoir étant vide, est de :

$$\frac{24 \times 2.000}{4 \times 10.600} = 1^{kg},200.$$

Le réservoir étant plein à la cote 107, le radier étant placé à la cote 102, il s'exerce sur la base une pression d'eau de 5.000 kilogr. par mètre carré.

D'autre part, le poids par mètre carré du mur est de :

$$24 \times 2.000 = 48.000 \text{ kilogr.}$$

La résultante de ces deux forces passe par le plan horizontal, au niveau de l'origine du radier général, à une distance de $0^{m},17$

de l'axe, c'est-à-dire que la résultante ne sort pas du noyau central. Grâce à la disposition adoptée, on a pu donner un large empattement au mur sans exagérer le cube de maçonnerie, et on a encore réduit la pression sur le sol de fondation.

Tableau pour calculer les hauteurs et les bases des talus d'excavation, quand on connaît le talus naturel de la terre et la hauteur à laquelle on peut la couper à pic sans qu'elle s'éboule (*Aide-Mémoire à l'usage des officiers du Génie*, par LAISNÉ).

	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50	1,60
0,20	2,95	2,40	2,11	1,92	1,80	1,71	1,64	1,59	1,55	1,52	1,49	1,47
0,25	4,30	3,19	2,65	2,34	2,14	1,99	1,89	1,82	1,95	1,70	1,66	1,63
0,30	6,84	4,43	3,42	2,89	2,57	2,35	2,19	2,08	1,99	1,91	1,86	1,81
0,40	28,30	10,37	6,36	4,72	3,88	3,36	3,02	2,78	2,60	2,46	2,35	2,26
0,50	Infini	43.30	14,98	8,83	6,38	5,11	4,34	3,84	3,48	3,22	3,02	2,87
0,60	.....	Infini	62,77	20,86	11,93	8,41	6,63	5,53	4,83	4,33	3,97	3,69
0,70	.....	.....	Infini	87,57	28,26	15,77	10,90	8,42	6,96	6,00	5,33	4,84
0,75	.....	.....	.....	356,96	51,54	23,26	14,63	10,69	8,52	7,16	6,25	5,60
0,80	.....	.....	.....	Infini	119,08	37,41	20,47	13,92	10,61	8,65	7,6	6,51
0,90	.....	.....	.....	.....	Infini	157,39	48,55	26,65	17,51	13,18	10,65	9,01
1,00	.....	.....	.....	.....	.....	Infini	204,69	61,95	32,86	21,77	16,21	12,98
1,10	.....	.....	.....	.....	.....	.....	Infini	260,64	79,01	40,81	26,73	19,74
1,20	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	Infini	228,14	96,93	50,09	32,53

Les nombres de la ligne horizontale supérieure de cette table indiquent la base du talus naturel des terres pour une hauteur égale à l'unité, et ceux de la première colonne verticale indiquent aussi, pour une hauteur égale à l'unité, la base du talus d'excavation.

Soit h' la hauteur, déterminée par une expérience, d'après laquelle on peut couper la terre à pic sans qu'elle s'éboule.

On peut, avec cette table, résoudre deux questions :

1° *Quelle est la hauteur h qu'on puisse donner à une excavation ayant une base déterminée de* $0^m,40$ *par mètre de hauteur, le talus naturel des terres, étant connu, et égal à* $1^m,10$, *par exemple ?*

Solution. — La hauteur cherchée sera h', multipliée par le nombre 3,02, qui fait à la fois partie des colonnes verticale et horizontale, dans lesquelles se trouvent respectivement la base du talus naturel des terres $0^m,40$, et celle du talus d'excavation, $1^m,10$. Ainsi pour $h' = 3^m,00$, on aura $h = 3^m,00 \times 3,02 = 9^m,06$, et, par suite, la base totale du talus de l'excavation sera $0^m,40 \times 9,06 = 3^m,624$.

2° *Quel est le talus le plus raide qu'on puisse donner à une excavation d'une hauteur déterminée* $h = 9^m,06$, *le talus naturel des terres étant connu et de* $1^m,10$, *par exemple?*

Solution. — Divisez la hauteur $9^m,06$ de l'excavation par h' (soit

par 3), cherchez le nombre 3,02 égal ou immédiatement supérieur au quotient obtenu 3,02 dans la colonne verticale qui contient la base du talus naturel 1,10 des terres, et la base du talus cherché sera le nombre $0^m,40$ qui lui correspondra horizontalement dans la colonne des bases des talus d'excavation. Le talus total de l'excavation sera alors $0^m,40 \times 9,06 = 3^m,624$.

Pour plus de sûreté, il faudra prendre h moindre que la valeur donnée par l'expérience.

Murs de revêtement. — D'après Vauban, les profils des murs de rempart sont convenables lorsque le moment de la résistance est des 4/5 plus fort que celui de la poussée des terres. C'est pour cette résistance que Poncelet a donné la formule empirique suivante, pour calculer l'épaisseur des revêtements pleins à parements verticaux :

$$x = 0,845\,(H + h)\,\text{tang}\,\frac{1}{2}\,\alpha\,\sqrt{\frac{\delta}{\delta'}},$$

qui devient, pour le cas des maçonneries moyennes :

$$x = 0,285\,(H + h).$$

x, épaisseur du mur ;
H, hauteur du revêtement ;
h, hauteur entière de la surcharge ;
α, angle du talus naturel des terres avec la verticale ;
δ et δ', poids du mètre cube de terre et de maçonnerie.

Ces formules sont applicables dans les limites de $h = 0$ et $h = H$, qui correspondent aux surcharges ordinaires de la pratique.

Si le parement extérieur, au lieu d'être vertical, avait une inclinaison moindre que 1/6, on prendrait l'épaisseur déduite de la formule précédente pour celle du revêtement cherché, mesurée à 1/9 de la hauteur à partir de la base. Cette règle est fondée sur le principe suivant :

Principe général de transformation d'un profil en un autre, d'après Vauban. — Tous les profils de revêtements à parement intérieur vertical, de même hauteur et même stabilité, mais dont les parements extérieurs sont inclinés à moins de 1/6 sur la verticale, ont, à 1/20 près, la même épaisseur au 1/9 de leur hauteur à partir de la base ; d'où il résulte que, jusqu'à cette limite, pour transformer un profil en un autre, il suffit de faire tourner le parement extérieur donné autour d'une horizontale comme axe, jusqu'à ce qu'il y ait l'inclinaison voulue, cette horizontale étant tracée dans le parement donné, au 1/9 de sa hauteur.

Lorsque l'inclinaison du talus extérieur varie de 0 à 1/5, la même égalité a encore lieu, mais seulement à 1/71 près.

Table donnant les épaisseurs x des revêtements pour les diverses terres et maçonneries, avec ou sans berme, et pour des hauteurs de surcharges qui dépassent les limites ordinaires de la pratique ; ces épaisseurs étant calculées en prenant la hauteur H des revêtements verticaux pour unité, et dans l'hypothèse de la rotation, et d'une stabilité équivalente à celle du revêtement modèle de Vauban, sans contrefort.

Les lettres x, H, h, δ et δ' ont les mêmes significations que dans les formules précédentes, et $f = \text{tang}\ \alpha$; f varie de 0,6 à 1,4, suivant que les terres sont légères ou très fortes, et $f = 1$ pour les terres moyennes pour lesquelles $\alpha = 45°$.

VALEUR de $\frac{h}{H}$	VALEUR DE x pour $\frac{\delta'}{\delta} = 1$, $f = 0,6$, la berme étant		VALEUR DE x pour $\frac{\delta'}{\delta} = 1$, $f = 0,6$, la berme étant		VALEUR DE x pour $\frac{\delta'}{\delta} = 1,5$, $f = 1$, la berme étant			VALEUR DE x pour $\frac{\delta'}{\delta} = \frac{5}{3}$, $f = 0,6$, la berme étant		VALEUR DE x pour $\frac{\delta'}{\delta} = \frac{5}{3}$, $f = 1,4$, la berme étant	
	nulle	0,2H	nulle	0,2H	nulle	0,2H	totale	nulle	0,2H	nulle	0,2H
0,0	0,452	0,452	0,258	0,258	0,270	0,270	0,270	0,350	0,350	0,198	0,198
0,1	0,498	0,507	0,282	0,290	0,303	0,306	0,303	0,393	0,398	0,222	0,229
0,2	0,548	0,563	0,309	0,326	0,336	0,342	0,326	0,439	0,445	0,249	0,262
0,3	0,604	0,618	0,338	0,361	0,368	0,375	0,343	0,485	0,489	0,274	0,283
0,4	0,665	0,670	0,369	0,394	0,399	0,405	0,357	0,532	0,522	0,303	0,299
0,5	0,726	0,717	0,402	0,423	0,436	0,431	0,368	0,579	0,549	0,332	0,314
0,6	0,778	0,754	0,436	0,450	0,477	0,457	0,377	0,617	0,572	0,360	0,328
0,7	0,824	0,790	0,472	0,476	0,512	0,481	0,385	0,645	0,593	0,387	0,343
0,8	0,867	0,820	0,510	0,501	0,544	0,504	0,391	0,668	0,610	0,413	0,357
0,9	0,903	0,848	0,541	0,524	0,575	0,523	0,398	0,690	0,624	0,437	0,371
1,0	0,930	0,873	0,571	0,546	0,605	0,540	0,405	0,707	0,636	0,457	0,384
1,2	0,983	0,916	0,632	0,586	0,654	0,574	0,411	0,737	0,655	0,498	0,410
1,4	1,023	0,945	0,684	0,624	0,696	0,602	0,416	0,762	0,672	0,537	0,428
1,6	1,056	0,970	0,730	0,658	0,734	0,622	0,420	0,780	0,685	0,566	0,445
1,8	1,084	1,990	0,772	0,690	0,769	0,640	0,423	0,797	0,697	0,594	0,461
2,0	1,107	1,004	0,812	0,714	0,795	0,655	0,425	0,811	0,705	0,622	0,475
2,5	1,151	1,037	0,902	0,778	0,848	0,690	0,431	0,833	0,722	0,680	0,506
3,0	1,180	1,060	0,981	0,835	0,892	0,717	0,435	0,852	0,731	0,726	0,531
3,5	1,203	1,074	1,047	0,883	0,928	0,738	0,438	0,862	0,737	0,765	0,551
4,0	1,222	1,084	1,105	0,926	0,957	0,755	0,442	0,872	0,742	0,800	0,568
4,5	1,237	1,093	1,158	0,962	0,981	0,768	0,444	0,878	0,747	0,833	0,583
5,0	1,247	1,101	1,206	0,994	1,002	0,779	0,445	0,883	0,751	0,862	0,596
5,5	1,254	1,109	1,250	1,021	1,019	0,788	0,447	0,886	0,756	0,885	0,607
6,0	1,259	1,116	1,290	1,047	1,034	0,796	0,448	0,891	0,759	0,903	0,617
7,0	1,269	1,122	1,357	1,087	1,059	0,811	0,449	0,898	0,764	0,941	0,633
8,0	1,276	1,128	1,415	1,121	1,079	0,822	0,451	0,903	0,768	0,968	0,646
9,0	1,280	1,133	1,465	1,153	1,095	0,830	0,452	0,906	0,770	0,992	0,657
10,0	1,283	1,137	1,508	1,182	1,109	0,839	0,453	0,909	0,771	1,013	0,667
15,0	1,298	1,150	1,662	1,271	1,149	0,864	0,455	0,917	0,777	1,088	0,696
20,0	1,309	1,156	1,757	1,327	1,171	0,878	0,456	0,922	0,780	1,129	0,712
25,0	1,312	1,160	1,821	1,363	1,185	0,887	0,457	0,924	0,782	1,146	0,723
30,0	1,316	1,162	1,866	1,389	1,194	0,894	0,458	0,926	0,783	1,174	0,730
Infini	1,337	1,176	2,144	1,541	1,243	0,927	0,461	0,934	0,789	1,279	0,769

Application. — Quelle doit être l'épaisseur d'un mur de quai de 7 mètres de hauteur, le poids du mètre cube de terre et de ma-

çonnerie étant respectivement 1.500 et 2.250 kilogr., et $\alpha = 45°$, ou $f = \text{tang}\ \alpha = 1$?

Ayant $\frac{h}{H} = \frac{0}{7} = 0$ et $\frac{\delta'}{\delta} = \frac{2\ 250}{1\ 500} = 1{,}5$, le tableau donne $x = 0{,}270$. L'épaisseur du mur en mètres sera alors :

$$0{,}270 \times 7 = 1^{m}{,}89.$$

Si les valeurs de f et de $\frac{\delta'}{\delta}$ différaient notablement de celles de la table, on prendrait pour x une valeur proportionnelle entre celles de la table qui correspondent aux nombres les plus rapprochés des données.

Épaisseur des murs en pierres sèches. — On prend ordinairement pour cette épaisseur 1/4 en sus de celle que donneraient les formules précédentes pour un revêtement en maçonnerie de même hauteur placé dans les mêmes circonstances.

Murs consolidés par des contreforts.— On augmente la stabilité des murs de soutènement, en adossant des contreforts en maçonnerie contre celle de leur face qui est en contact avec les terres, ou contre la face opposée, comme cela a lieu dans les barrages de quelques réservoirs ; les contreforts intérieurs ont l'avantage de diviser le prisme de plus grande poussée et de diminuer cette poussée.

Les contreforts isolés n'ayant pour objet que de rompre le prisme de plus grande poussée, sont employés dans les lieux où la pierre est abondante, et on les exécute en pierre sèche.

Le mur de quai de Châlons, construit par Gauthey, a 5 à 6 mètres de hauteur, $0^{m}{,}54$ d'épaisseur en haut et $1^{m}{,}15$ en bas, avec 1/12 de fruit sur le parement vu. Les contreforts ont 1 mètre d'épaisseur et autant de saillie ; ils sont distants de $5^{m}{,}30$ d'axe en axe ; ils sont reliés par trois étages de voûtes en décharge de $1^{m}{,}60$ de hauteur sous clef. Par cette disposition on a économisé 1/3 de la maçonnerie.

Dans les quais de Paris on a rattaché aux murs des contreforts distants de 6 mètres, ayant $2^{m}{,}20$ de longueur et $1^{m}{,}20$ à $1^{m}{,}50$ de largeur. Ils supportent des trottoirs qui ont 3 mètres ; le parapet a $0^{m}{,}50$; mais on ne les a reliés que par une seule voûte placée à la partie supérieure. Cette disposition exige plus de maçonnerie que celle de Gauthey ; mais elle diminue les frais de construction de voûtes.

D'après Léveillé, un contrefort communique, à la portion de mur contre laquelle il s'appuie, une stabilité relative qui permet de la supposer fixe, du moins en la comparant aux autres sections du même mur. Dès lors, si les pierres, les moellons, ou même les grains de sable, de mortier, de terre, qui occupent

l'intervalle entre deux contreforts, sont tellement agencés et serrés les uns contre les autres, qu'aucun d'eux ne puisse prendre de mouvement sans faire éprouver aux autres un certain déplacement, la fixité de ceux de ces points qui correspondent aux contreforts fera naître des arcs-boutants, qui, dans certains cas, détruiront complètement l'action des forces extérieures.

Ainsi, lorsque le fond d'une caisse contenant du sable tassé vient à céder, une portion du sable immédiatement en contact avec le fond suit le mouvement; mais bientôt il se forme, au-dessus de la partie qui a cédé, une voûte dont la flèche dépend de l'ouverture, et le massif de sable peut résister, en cet état, à des surcharges considérables.

Léveillé a pu, en 1836, dans le fond d'une caisse cubique de $1^m,20$ de côté et remplie de sable sur 1 mètre de hauteur, enlever un cercle de 1 mètre de diamètre, sans qu'il s'échappât autre chose que le sable nécessaire pour mettre à découvert une voûte de 1 mètre de diamètre sur $0^m,60$ de flèche. Cependant la clef de cette voûte avait été chargée, dans un rayon de $0^m,10$, de poids additionnels formant une pression de 5.000 kilogr. par mètre carré.

« La rupture, dit Vicat, pour un prisme rectangulaire de plâtre de $0^m,03$ d'épaisseur, sur $0^m,10$ de portée, s'effectue au milieu, seulement sous un poids de $33^{kg},15$; mais ce poids n'en reste pas moins suspendu sur le joint de deux parties arc-boutées, lesquelles opposent encore une résistance qui ne pourra être vaincue qu'autant que la matière refoulée sur elle-même se brisera au point d'arc-boutement ; alors les ruptures au point d'encastrement deviendront possibles. »

Léveillé a pu évider assez un mur de soutènement pour qu'au milieu des $4^m,75$ qui séparaient ses contreforts extérieurs il n'eût que $0^m,50$ d'épaisseur. Cependant il était construit en moellons ordinaires et supportait plus de 7 mètres de hauteur des terres nouvellement remblayées.

Léveillé pense que, dans l'emploi des contreforts, on doit déterminer l'épaisseur du mur entre chacun d'eux, comme on le ferait pour une voûte ou pour une plate-bande.

L'existence des contreforts a donc pour premier effet, sur le mur proprement dit, de mettre en jeu la résistance à l'écrasement; et cette résistance, la plus considérable que les maçonneries puissent présenter, permet de réduire leur épaisseur. Cette substitution n'est que partielle dans le système, et définitivement le moment de stabilité devra seul contrebalancer le moment de la poussée des terres.

Mais ici se présente l'avantage de l'emploi des contreforts, celui d'augmenter le bras de levier de la maçonnerie, et, par suite, de permettre la diminution du cube.

Léveillé est arrivé aux formules suivantes :

1° *Contreforts extérieurs :*

$$D = \frac{H}{8} \times \frac{k - dt^2 (H + h)}{dt^2 (H + h)}. \qquad (a)$$

D, intervalle de deux contre-forts voisins ou longueur de mur qu'ils interceptent ;

H, hauteur du mur et des contre-forts ;

h, hauteur des terres au-dessus du sommet du mur ;

k, poids qu'un mètre carré de maçonnerie peut supporter sans altération ;

d, poids du mètre cube de terre ;

$t^2 = \text{tang}^2 \frac{1}{2} a$;

a, angle que forme le talus naturel des terres avec la verticale (238).

$$e = D \sqrt{\frac{2}{3} \frac{dt^2 (H + h)}{k}}. \qquad (b)$$

e, épaisseur du mur entre les contre-forts.

$$e' = D \frac{dt^2 (H + h)}{k - dt^2 (H + h)} \qquad (c)$$

e', épaisseur des contre-forts, mesurée dans le sens de la longueur du mur.

$$l = -\frac{D + e'}{e'} e + \sqrt{\frac{D(D + e')}{e'^2} e^2 + \frac{dt^2 (H + h)^3}{3d'H} \times \frac{D + e'}{e'}}. \qquad (d)$$

l, longueur des contre-forts ou saillie sur le parement du mur. Cette formule donne l dans l'hypothèse de l'équilibre mathématique autour des arêtes extérieures des contre-forts, et en supposant verticales toutes les faces des contre-forts et du mur ;

d', poids du mètre cube de maçonnerie.

$$V = \frac{LH}{D + e'} [e (D + e') + e'l]. \qquad (e)$$

V, cube de maçonnerie pour une longueur L de mur.

2° *Contreforts intérieurs.* — Les formules précédentes supposent les contreforts placés à l'opposite des terres ; c'est la position la plus convenable qu'on puisse leur assigner sous le rapport de l'économie ; mais, dans une foule de cas, il y a obligation de les appuyer contre la face opposée, et cette disposition apporte forcément des modifications dans les diverses dimensions.

La poussée agit dans ce cas en partie sur le derrière des contreforts et en partie dans leurs intervalles, et cette dernière fraction de la poussée totale est reportée, comme dans le premier cas, sur la zone du mur qui correspond aux contreforts, si toutefois cette zone peut être considérée comme formée de points fixes.

Si l'on considère un mur qu'un mouvement de rotation a séparé

de ses annexes, on voit la séparation, nulle en bas, atteindre son maximum à la partie supérieure ; les résistances développées par la force de cohésion, dans le cas où la séparation ne peut avoir lieu, vont donc en croissant depuis le bas du mur, où la force est zéro, jusqu'au sommet, où l'on peut supposer qu'elle atteigne la plus grande valeur R′ qu'un mètre carré de maçonnerie puisse supporter sans altération.

C'est donc le moment $\frac{R'H^2e'}{3}$ qui doit faire équilibre au moment de la poussée :

$$\frac{dt^2(H+h)^3}{6}D.$$

Égalant ces deux moments, on en conclut :

$$D = \frac{2R'H^2e'}{dt^2(H+h)^3}. \qquad (a')$$

Mais l'épaisseur des contreforts doit procurer à ces annexes la stabilité nécessaire pour résister aux actions latérales.

L'intervalle entre deux contreforts consécutifs peut être vide pendant que les intervalles voisins contiendront encore des remblais ; de là, nécessité d'une épaisseur beaucoup plus considérable que dans le cas des contreforts extérieurs. Quelles que soient les causes de leur renversement transversal, on peut adopter la formule suivante de Vauban :

Saillie des contre-forts.....	$0^m,65 + 0,2H$.
Largeur à la racine.....	$0^m,65 + 0,1H$.
Largeur à la queue.....	$2/3\ (0^m,65 + 0,1H)$.

Léveillé, supposant les contreforts à base rectangulaire et non trapézoïdale, a proposé d'adopter la demi-somme des deux largeurs précédentes, ce qui le conduit à la formule empirique :

$$e' = 0^m,55 + \frac{1}{12}H. \qquad (c')$$

L'épaisseur du mur entre les contre-forts doit être de :

$$e = \sqrt{D(D+2e')\frac{2}{3}\frac{dt^2(H+h)}{k}}. \qquad (b')$$

Égalant le moment de la poussée à celui de stabilité du mur, on en conclut, pour la longueur des contre-forts,

$$l = -e + \sqrt{\frac{dt^2(H+h)^3}{3dH} \times \frac{D+e'}{e'} - \frac{D}{e'}e^2}. \qquad (d')$$

Coefficient de stabilité. — Ce qui précède suppose que les murs tourneraient sur leur arête extérieure. Or la maçonnerie ne peut

supporter sans altération et par mètre carré qu'un poids de grandeur finie ; et, dans l'hypothèse admise, la surface sur laquelle devrait reposer le poids de toute la maçonnerie serait nulle.

Dans le cas des contreforts extérieurs on obviera à cet inconvénient par l'addition, à chaque contrefort, d'un prisme horizontal dont la base est triangulaire, et dont la face latérale reposant sur le sol peut supporter sans altération les 2/3 du poids de la maçonnerie ancienne augmentée de la maçonnerie nouvelle.

Désignant par y la dimension normale au mur de la face du prisme triangulaire additionnel reposant sur le sol, on aura :

$$y = \frac{\frac{2}{3}\frac{d'H}{k}\left(\frac{D+e'}{e'}e+l\right)}{1-\frac{1}{3}\frac{dH}{k}}. \qquad (f)$$

S'il s'agit de contreforts intérieurs, on les allongera vers l'intérieur des terres, tout en leur conservant leur hauteur et leur épaisseur, et les terminant toujours par une face verticale, on forcera ainsi la résultante de la poussée des terres et du poids de la maçonnerie à venir rencontrer le sol assez en arrière de l'arête extérieure, où elle passait précédemment, pour que la partie de mur, extérieure au nouveau point de rencontre, puisse supporter, sans altération, le poids de toute la maçonnerie ; x étant la longueur additionnelle des contreforts, on a :

$$x = \frac{-\left[l+e-2A\left(e+\frac{D+e'}{e'}l\right)\right] \pm \sqrt{(l+e)\left[l+e-2A\left(e+\frac{e'}{D+e'}l\right)\right]+2Ae\left(e+\frac{e'}{D+e'}l\right)\frac{D}{e'}}}{1-2A\frac{e'}{D+e'}},$$

formule dans laquelle

$$A = \frac{2}{3}\frac{d'H}{k}\left(1-\frac{1}{3}\frac{d'H}{k}\right). \qquad (g)$$

Si le mur n'avait pas de contreforts, et si l'on se demandait quelle épaisseur devrait avoir un autre mur, également rectangulaire, pour que la résultante de la poussée et du poids passât à une distance en arrière de l'arête extérieure, telle qu'il n'y eût point à craindre d'altération, on poserait :

$$e_1 = e \times \frac{1}{1-\frac{2}{3}\frac{dH}{k}}.$$

c'est-à-dire qu'on passe d'une épaisseur à l'autre à l'aide d'un coefficient, appelé par les auteurs *coefficient de stabilité*.

Dans le cas des terres moyennes, et d'une hauteur de revêtement de 10 mètres, hauteur la plus commune des revêtements

de Vauban, ce coefficient est:

$$\frac{1}{1 - \frac{2}{3} \times \frac{2.100 \times 10}{36.000}} = \frac{18}{11} = 1,64.$$

Poncelet adopte 1,912 pour la valeur numérique de ce coefficient.

Applications. — Pour le profil-type de Vauban, et dans l'hypothèse de terres et de maçonneries dites moyennes, c'est-à-dire pour:

$$H = 10^m, h = 2^m, d' = 2.100^k, d = 1.400^k, R' = 3.000^k, k = 3.6000^k \text{ et } t^2 = 0,17,$$

dans le cas des contreforts extérieurs, on prendra pour D la plus petite des valeurs numériques tirées des équations :

(a), qui donne, en remplaçant les lettres par leurs valeurs et en effectuant les calculs,

$$D = 14^m,50,$$

et

$$D^3 + \frac{3}{2}\frac{H}{8}D^2 - \frac{1}{8}\frac{k(H+h)^2}{4d'} = 0.$$

Cette équation du troisième degré a au moins une racine réelle; elle est positive et comprise entre 4 et 5 mètres.

Par suite, on posera	$D = 5^m,00$
Assimilant les contreforts aux murs de clôture, on leur donnera la valeur maximum fournie par la formule de Rondelet, c'est-à-dire $\frac{H}{8} = \frac{10}{8}$	$= 1^m,25$
$D + e'$	$= 6\ ,25$
La formule (b) donne e	$= 1\ ,15$
La formule (d) fournit l	$= 1\ ,94$
Et celle (f), y	$= 3\ ,72$
D'où $y + l$	$= 5\ ,66$

Dans le cas des contreforts intérieurs, les formules :

(c'), (a'), (b'), (d'), (g),

donnent respectivement :

$$e' = 1^m,38, \quad D = 2^m,01, \quad e = 0^m,713, \quad l = 3^m,20, \quad x = 1^m,01.$$

Comparaisons des cubes. — L'entr'axe est de :

Pour les contreforts extérieurs	$6^m,25$
— — intérieurs	$3\ ,39$
Pour le profil de Vauban	$6\ ,00$

Pour faciliter la comparaison des cubes, Léveillé a supposé

que, sans changer les épaisseurs et les longueurs trouvées précédemment, on réduise à 6 mètres l'entr'axe des contreforts extérieurs, et qu'on fasse les calculs pour un mur dont la longueur soit de $600 \times 3^m,39$, ou 339 fois 6 mètres, ou 2.034 mètres.

Le cube est alors :

1° Pour un mur sans contrefort, rectangulaire, et dont l'épaisseur serait le tiers de la hauteur des terres, $2.034 \times 10 \times 4 =$ ..... 81.360^{m3}

2° Pour le profil de Vauban, pour le mur proprement dit, $2.034 \times 10 \times \frac{5 + 11}{2} \times 0,33 =$ ..... 53.698^{m3}

Pour les contreforts, $339 \times 10 \times \frac{1.65 + 1,10}{2} \times 2,65 =$ .. 8.152^{m3}

Volume total..... 61.850^{m3}

3° Dans le cas des contreforts intérieurs, mais avec le profil indiqué ci-dessus, pour le mur proprement dit, $2.034 \times 10 \times 0,713 =$ ..... 14.502^{m3}

Pour les contreforts, $600 \times 10 \times 1,3833 \times 4,21 =$... 34.942^{m3}

Ensemble..... 49.444^{m3}

4° Dans l'hypothèse des contre-forts extérieurs, pour le mur proprement dit, $2.034 \times 10 \times 1,15 =$..... 23.391^{m3}

Pour les contreforts, $339 \times 10 \times 1,25 \times 5,66 =$... 23.984^{m3}

TOTAL..... 47.375^{m3}

Batardeaux. — L'exécution des piles de ponts, des écluses, des canaux et de beaucoup d'autres ouvrages hydrauliques, oblige souvent de faire une partie du travail à un niveau inférieur à celui de l'eau ; ce qui nécessite, pour garantir l'atelier de l'invasion de cette dernière, d'établir une digue en terre ou en maçonnerie appelée *batardeau*, capable de résister à la pression de l'eau et aux infiltrations, et qu'on élève jusqu'au-dessus du niveau de l'eau.

Batardeaux en terre. — Lorsque la profondeur d'eau n'est que de 1 mètre, le batardeau se fait en terre, en lui donnant de $0^m,80$ à $1^m,20$ d'épaisseur moyenne ; la terre doit être bien pilonnée au fur et à mesure de la pose.

Si le batardeau doit être exposé au choc d'un courant rapide, que la profondeur d'eau atteigne $1^m,50$, sa construction doit être plus solide ; alors on enfonce avec le mouton une suite de pieux contre lesquels on fixe des madriers jointifs, et c'est contre ce barrage en charpente, destiné à défendre la terre, qu'on tasse celle-ci pour terminer le batardeau. Quelquefois on a remplacé les madriers par des fascines.

Quand la profondeur de l'eau à intercepter excède $1^m,50$, on donne au batardeau en terre la disposition suivante, qui offre plus de résistance que la précédente : on bat sur deux rangs parallèles des pieux espacés de 1 mètre dans le sens de la lon-

gueur des rangs ; on réunit les pieux de chaque rang par des moises boulonnées, ou par des madriers qu'on cloue horizontalement ; entre ces moises, ou contre ces madriers, on place des *palplanches* taillées en biseau à leur extrémité inférieure, et posées à joints carrés l'une contre l'autre, ou assemblées entre elles à rainures ou languettes; ces palpanches étant enfoncées jusqu'à ce que leur extrémité soit inférieure au sol sans consistance, elles forment deux cloisons. Les pieux doivent avoir été battus. On nettoie le fond de l'intervalle des deux cloisons en charpente par des entretoises assemblées à tenon et à mortaise dans les pieux ou boulonnées.

Quand l'encaissement est terminé on le remplit de terre grasse semi-argileuse. On doit la jeter par petites parties, et la pilonner par couches de $0^m,15$ à $0^m,20$ d'épaisseur, au fur et à mesure de la pose ; sans cette précaution, elle se pelotonnerait, le tout ne formerait pas un corps compact, et de la sécheresse occasionnée par un abaissement du niveau il résulterait des gerces qui donneraient lieu à de nombreuses fuites quand l'eau viendrait à s'élever. Quand un tel effet se produit, comme il est très difficile d'arrêter les infiltrations dans ces sortes de batardeaux, on enlève toutes les terres du batardeau, pour les replacer ensuite.

On doit ne placer aucune entretoise au-dessous du niveau de l'eau, car celle-ci suivrait leur surface et il en résulterait des sources abondantes. On a obtenu de bons résultats en mélangeant à l'argile de la paille ou du fumier.

Pour que les batardeaux aient une stabilité convenable, on fait leur épaisseur égale à la hauteur d'eau à retenir.

Batardeaux en maçonnerie. — Ces batardeaux se font en béton ou en maçonnerie de moellons hourdée en mortier hydraulique. On doit draguer le fond sur lequel on veut les poser, jusqu'à ce qu'on ait atteint un sol assez résistant pour en supporter le poids sans affaissement. L'emploi du mortier de ciment de Vassy offre de grands avantages.

Dans plusieurs ports de mer, pour fonder les murs de quais, les batardeaux se font en béton. Pour les établir, on coule, à l'emplacement du mur, un massif de béton de $0^m,50$ à $0^m,60$ plus épais que le mur ; quand le béton a acquis une dureté convenable, on refouille le massif sur une largeur égale à l'épaisseur du mur, et jusqu'à la profondeur à laquelle il convient de descendre le mur dont la première assise de moellons ou de pierres de taille se pose dans le fond de l'espèce de batardeau que l'on vient de former.

L'épaisseur des batardeaux en maçonnerie se calcule par une formule semblable à celle qui donne l'épaisseur d'un mur de revêtement : ainsi l'on a, en remarquant que dans ce cas la

hauteur h est négative, que $d = 1.000$ kilogr. et que $\tang \frac{1}{2} a = 1$:

$$x = 0,845(H - h)\sqrt{\frac{1000}{d}}.$$

Comme, au-devant des barrages de rivières et de cours d'eau naturels, il peut se former des atterrissements dont la poussée est plus grande que celle de l'eau, il faudrait dans ce cas faire $d = 1.800$ kilogrammes, qui est le poids moyen des terres mouillées.

Pour les fondations à établir sous l'eau sur un fond de rocher, on peut appliquer le système de batardeau employé au viaduc de l'Aude.

Lorsque les batardeaux sont destinés au barrage des eaux d'un aqueduc ou d'un canal, on peut les exécuter en maçonnerie de meulière ou de briques hourdée en mortier de ciment romain, en ne leur donnant que de $0^m,10$ à $0^m,25$ d'épaisseur. Afin d'augmenter leur résistance, on les construit sur un plan circulaire, de manière qu'ils forment une voûte très surbaissée, dont, si cela est possible, les murs du canal ou de l'aqueduc forment les culées, et dont l'extrados est tourné du côté de l'eau. Tous les batardeaux qu'on établit dans l'aqueduc de ceinture de la ville de Paris, pour cause de réparation, sont construits de cette manière. La cunette a $1^m,70$ de profondeur et $1^m,40$ de largeur, et, quoiqu'on ne donne aux batardeaux que $0^m,11$ d'épaisseur (une brique en largeur), ils sont parfaitement imperméables et résistent très bien à la pression de l'eau.

F étant l'excès de la poussée Q sur le frottement, le tout calculé au niveau du sol inférieur, on donne, pour déterminer la profondeur h' à laquelle il faut descendre la fondation pour résister avec sécurité au glissement, la formule :

$$h_1 = 1,4 \tang \frac{1}{2} \alpha \sqrt{\frac{2F}{\delta}}. \qquad (a)$$

α est l'angle de la verticale avec le talus naturel des terres. δ est le poids du mètre cube de ces terres. Sur un sol de sable argileux, qui est celui où le glissement est surtout à craindre, on aurait environ $\alpha = 60°$, $\delta = 1.500$, et 0,30 pour le coefficient du frottement du mur sur le sol.

Cette formule est applicable aux fondations des batardeaux et des murs de réservoirs.

Nous avons vu précédemment comment on calcule la poussée Q et le frottement du mur sur sa base ; on a donc le moyen de déterminer F.

Ainsi, ayant calculé l'épaisseur du mur, comme on l'a fait précédemment, au niveau du sol inférieur, on détermine F ;

puis la formule précédente (a) donne la profondeur h' à laquelle il faut descendre la fondation.

Méthode empirique pour calculer la poussée horizontale d'un remblai. — On donne aussi, pour déterminer approximativement la poussée horizontale Q des terres et la position de son point d'application, le procédé graphique suivant (*fig.* 303) :

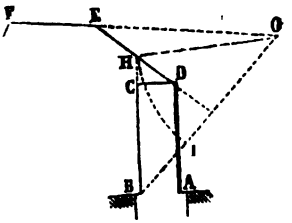


Fig. 303.

On abaisse du pied intérieur B du mur une perpendiculaire sur la direction du talus naturel ED des terres, et on la prolonge jusqu'à la rencontre de la plongée FE en O. Déterminant le point de rencontre H de BC avec ED, et prenant OI = OH, on a la poussée

$$Q = \frac{1}{2}\delta \times \overline{BI}^2.$$

Le point d'application de la poussée Q se trouve moyennement à 0,5BH à partir du point B.

Barrages ou digues en maçonnerie. — Navier a donné les deux formules suivantes pour calculer l'épaisseur des murs devant théoriquement faire équilibre à la poussée de l'eau, cette épaisseur étant la même sur toute la hauteur du mur :

$$x = 0{,}59h\sqrt{\frac{\delta}{\delta}}, \qquad x' = \frac{h}{2F} \times \frac{\delta}{\delta}. \qquad (a)$$

x et x', épaisseur à donner au mur pour résister théoriquement, la première au renversement, la seconde au glissement ;
h, hauteur totale depuis la base de la fondation ;
δ et δ', densités de l'eau et de la maçonnerie ;
F, rapport du frottement à la pression, eu égard à la résistance du terrain en aval de la fondation.

Dans les cas les plus défavorables, les formules précédentes donnent $x = 0{,}41h$ et $x = 0{,}50h$, valeurs qui doivent être considérées comme des minima, au-dessous desquels on ne doit pas descendre dans la pratique.

M. Krantz indique les dispositions et dimensions suivantes :

Maçonnerie de moellons durs à joints incertains, hourdée en bon mortier hydraulique, coûtant environ 28 francs le mètre cube, pesant 2.300 kilogr. le mètre cube, et pouvant être chargée au maximum de 6 kilogr. par centimètre carré.

Le mur est nécessairement fondé sur une roche consistante, mise à vif, et taillée en gradins se relevant de l'avant vers l'aval, ou, plus simplement encore, dérasée irrégulièrement avec des saillies prises de distance en distance dans les parties saines

de la masse. La maçonnerie étant en moellons bruts sans assise régulière, elle forme un monolithe adhérent à sa base.

L'épaisseur du mur au niveau de la surface de l'eau est de 2 mètres pour les petites retenues, et de 5 mètres pour les plus grandes. Le mur a une épaisseur uniforme au-dessus de la surface de l'eau, qu'il dépasse de 3m,50 au maximum, pour les grandes profondeurs, parapet non compris.

Le choc des vagues et la présence des glaces font supprimer les cordons, retraites, saillies ou creux à la partie antérieure du couronnement. Le parapet du côté amont doit être constitué par un mur de 0m,70 d'épaisseur et 1 mètre de hauteur, arrondi en hérisson à sa partie supérieure.

Il peut y avoir avantage dans certains cas à donner au mur, en plan, une courbure à convexité tournée vers l'amont, de manière à reporter une partie des pressions sur les flancs de la vallée.

La figure 304 représente le profil-type des murs de réservoirs, et le tableau suivant donne les dimensions principales de ces murs. Jusqu'à la profondeur d'eau de 35 mètres, la base du mur est supprimée, les profils courbes CD et PL se prolongent jusqu'au pied du mur.

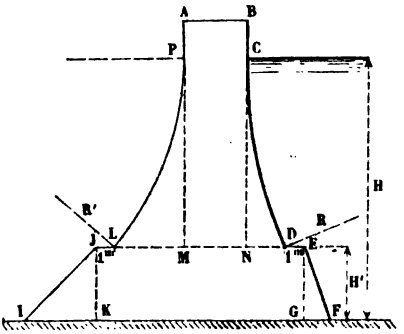


Fig. 304.

Tableau des principales dimensions des murs de réservoirs

HAUTEUR de l'eau H	HAUTEUR de la retraite H'	LARGEUR en couronne PC	HAUTEUR du couronnement BC	FLÈCHE		FRUIT du soubassement		RAYON de courbure		LARGEUR totale de la base IF
				Amont DN	Aval LM	Amont GF	Aval KI	Amont R	Aval R'	
mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.
5,00	»	2,00	0.50	1,00	1,00	»	»	13,00	13,00	4,00
10,00	»	2,50	1,00	2,00	2,50	»	»	26,00	21,25	7,00
15,00	»	3,00	1.50	3,00	4,50	»	»	39,00	27,25	10,50
20,00	»	3,50	2,00	4,00	7,00	»	»	52,00	32,07	14,50
25,00	»	4,00	2,50	5,00	10,00	»	»	65,00	36,25	19,00
30,00	»	4,50	3,00	6,00	13,50	»	»	78,00	40,08	24,00
35,00	»	5,00	3,50	7,00	17,50	»	»	91,00	43,75	29,50
40,00	5,00	5,00	3,50	7,00	17,50	3,33	5.00	91,00	43,75	39,83
45,00	10,00	5,00	3,50	7,00	17,50	6,67	10,00	91,00	43,75	48,17
50,00	15,00	5,00	3,50	7,00	17,50	10,00	15,00	91,00	43,75	56,50

Fruit. — On donne extérieurement un fruit de $\frac{1}{15}$ au moins aux murs de soutènement.

Le fruit est moins grand quand le mur est apparent, afin que son aspect ne soit pas disgracieux.

On pourrait sur le roc disposer les fondations par réduit et même les incliner du côté du massif, si l'on craignait un glissement du mur.

Considérations générales. — On a souvent économisé un grand volume de maçonnerie en composant le soutènement d'*éperons* ou *contreforts* (voir plus loin) réunis par le mur proprement dit. Dans cette disposition le prisme de poussée est divisé, et sa pression sur le mur est moins énergique. Il est possible même d'utiliser en partie le poids de la terre à la stabilité du mur. Pour cela, on relie les contreforts par des voûtes sur lesquelles on pilonne de la terre.

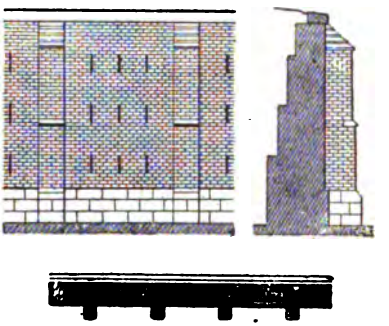


Fig. 305.

La figure 305 montre un mur de soutènement consolidé par des *contreforts* en talus ou à retraites successives, placés à l'extérieur, à intervalles réguliers, isolés. Ces contreforts peuvent être réunis en plusieurs points à leur hauteur, soit seulement à leur sommet (*fig.* 306) par des arcs saillants.

Enfin on peut rendre la résistance du mur plus efficace en lui donnant, suivant la section horizontale, une courbure entre les contreforts (*fig.* 306).

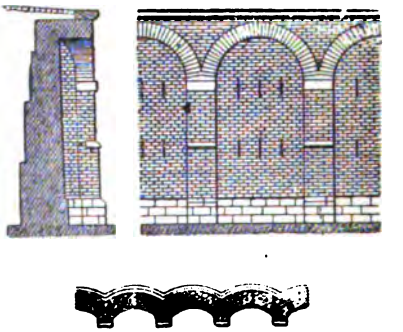


Fig. 306.

La poussée de l'eau dans les terres derrière le mur tend à augmenter la pression dans des proportions considérables. Il faut ménager dans le mur des *barbacanes* par lesquelles l'eau trouve un écoulement (*fig.* 305 et 306).

Si un mur de soutènement était destiné à soutenir des terres

fortement détrempées, il serait bon d'assécher ces terres en dirigeant les eaux dans un caniveau placé derrière le mur de soutènement.

Afin de faciliter l'écoulement des eaux vers ce caniveau, on établit entre le massif humide et le mur un blocage de pierres sèches.

Il est quelquefois utile, dans les terrains mous, de fortifier le pied de la base, à l'extérieur, au moyen de pilotis serrés.

Dans le cas où les couches du terrain s'inclinent vers le mur, son épaisseur doit être augmentée proportionnellement ; si, au contraire, les couches déclinent, le mur peut n'avoir que l'épaisseur d'un simple parement, destiné uniquement à empêcher le sol de devenir trop meuble et de s'ébouler.

Les murs de soutènement et de revêtement avec contreforts peuvent recevoir les épaisseurs indiquées dans le tableau suivant, en admettant que la paroi postérieure du mur soit verticale.

HAUTEUR	ÉPAISSEUR DU MUR de revêtement		CONTREFORTS		HAUTEUR	ÉPAISSEUR DU MUR de revêtement		CONTREFORTS	
	en haut	en bas	Largeur	Epaisseur		en haut	en bas	Largeur	Epaisseur
mètres	mètres	mètres	mètres	mètres	mètres	mètres	mètres	mètres	mètres
1,88	0,47	0,63	—	—	6,28	1,75	2,26	1,88	1,02
2,51	0,7	0,95	—	—	7,7	2.12	2,75	2,2	1,18
3,12	0,86	1,11	1,26	0,78	9,4	2.66	3,3	2,51	1,31
3,76	1,08	1,33	—	—	11,0	—	—	2,82	1,41
4,55	1,25	1,6	1,56	0,94	12,6	3,52	4,54	3,14	1,57
5,02	1,4	1,83	—	—	15,7	4,4	5,64	3,77	1,88
5,64	1,6	2,0	—	—	18,8	5	6,44	4,4	2,00

Pour de grandes hauteurs l'écartement des contreforts est h ou $1/2\,h$; mais il ne doit jamais être plus grand que $5^m,50$.

L'épaisseur des murs de revêtement est généralement $0,14h$; cette épaisseur est prise au bas du mur dans les circonstances ordinaires, et au milieu de la hauteur pour des terres mouvantes.

Par dessiccation, le poids d'un mur diminue de 1/15 environ. Le tassement peut être évalué de 1/200 à 1/150 de la hauteur.

Baies

Dans une fenêtre (*fig.* 307 à 309) on distingue les *jambages*, *dosserets*[1] ou *pieds-droits* a, le linteau b et la partie inférieure ou

[1] Le *dosseret* est plus exactement la partie saillante d'un pied-droit qui forme le tableau d'une baie; cette saillie peut supporter un linteau, un arc : c'est une sorte de pilastre saillant (*fig.* 310).

appui c. Le jambage comprend un *tableau de*, une *feuillure ef* où vient se placer le dormant de la croisée et un *ébrasement* ou *embrasure fg* (en biais) ou élargissement destiné à faciliter le développement des vantaux de la croisée. Le petit mur *h*, sur lequel on place l'appui, s'appelle *allège* ou mur de *soubassement*.

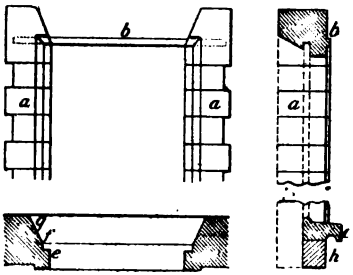


Fig. 307 à 309.

La dernière pierre au haut du jambage est le *sommier*.

Les appuis des fenêtres se forment d'une rangée de briques sur champ ou d'un morceau de pierre auquel on donne un petit biais du dedans au dehors, afin de faciliter l'écoulement des eaux pluviales. Ce biais a pour hauteur 1/6 de la largeur. L'appui, soit en briques, soit en pierre, doit former une saillie d'environ 3 à 4 centimètres sur le nu du mur extérieur, et sur cette saillie, en dessous, on pratique une rainure ou petit canal appelé *larmier*, pour empêcher l'eau de couler le long du mur. Les appuis des fenêtres ne doivent se poser que lorsque le tassement des murs a eu lieu.

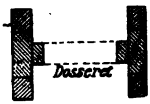


Fig. 310.

On doit laisser un jour en dessous de l'appui, jour que l'on remplit plus tard en mortier, pour empêcher l'appui de se briser.

On donne ordinairement au tableau $0^m,16$ à $0^m,20$ d'épaisseur ou de profondeur.

Pour fermer la baie par le haut dans le cas de maçonnerie en pierre de taille, on fait une voûte reposant sur les sommiers. Lorsque l'intrados de cette voûte, composé de plusieurs pierres,

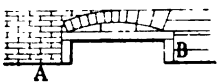


Fig. 311. — Arc de décharge (A, côté en briques; B, côté en pierre).

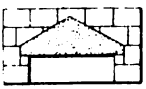


Fig. 312. — Linteau en fronton.

est un plan, on l'appelle *plate-bande* et on le consolide par des linteaux en fer carré enchâssés dans la plate-bande.

Si l'on fait le *linteau* d'une seule pierre, on le soulage, s'il est

nécessaire, par le moyen d'un arc en pierre ou en briques placé au-dessus, qui reporte les charges supérieures sur les piédroits (arc de décharge, *fig.* 311, 315 et 316).

Dans les constructions en briques, en moellons, en meulières,

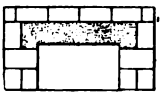


Fig. 313. — Linteau avec retour d'angle.

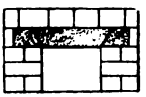


Fig. 314. — Linteau en trois morceaux (plateau-bande rudimentaire).

on peut faire le linteau avec 2 fers carrés (*courson* ou *courçon*) portant par leurs extrémités sur les jambages, ou au moyen de

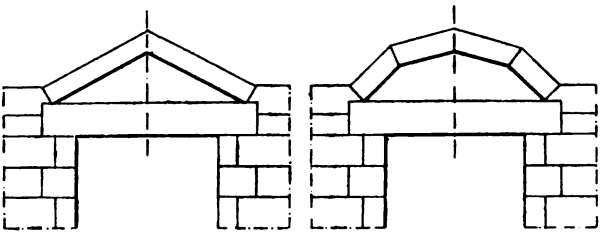


Fig. 315 et 316. — Linteaux soulagés par un arc de décharge.

fers à **T** assemblés comme les poitrails. La fermeture d'une baie peut être aussi un arc en briques ou en moellon piqué.

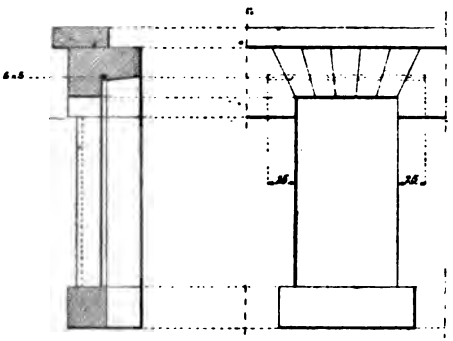


Fig. 317. — Linteaux dont les voussoirs sont soutenus par une barre de fer de 0m,05 de côté ancrée dans les deux sommiers.

Pour exécuter les baies dans les murs en moellon ou mortiers, on arase de niveau les jambages à la hauteur indiquée sur les

plans, et on fait reposer dessus les extrémités des linteaux devant couronner la baie. La hauteur à laquelle on place ces linteaux se règle en tenant compte des $0^m,03$ d'épaisseur du lattis et de l'enduit de recouvrement. Quand il doit y avoir des persiennes ou des volets à l'intérieur, la pièce de linteau de ce côté doit être refouillée comme préparation de la feuillure.

Pour les murs de $0^m,40$ à $0^m,60$ d'épaisseur, les linteaux étaient formés autrefois de trois pièces de charpente dont la longueur était supérieure de $0^m,50$ à la largeur de la baie. Les deux principales pièces, à peu près égales en équarrissage, se posent en retraite de $0^m,03$, sur les nus des murs, afin qu'on puisse les recouvrir d'un lattis et de l'enduit ; celle de ces pièces, située du côté

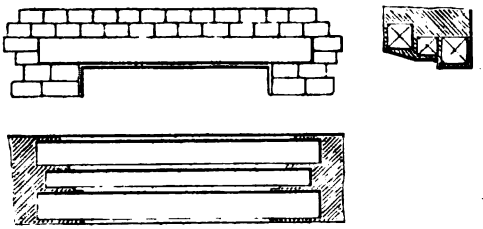


Fig. 318.

intérieur, doit être surélevée de $0^m,05$ à $0^m,10$ sur l'autre, pour former la feuillure du tableau et l'embrasement. La troisième pièce est simplement un remplissage, de plus ou moins d'équarrissage, qu'on place entre les deux premières pour remplir l'espace qui y est resté vide. La figure 318 représente cette disposition.

On remplace, surtout pour les baies d'une grande largeur, les linteaux en bois, qui ont l'inconvénient de pourrir rapidement, par des linteaux en fer.

Plates-bandes. — Lorsqu'on renonce à l'emploi des linteaux en bois ou en fer pour recouvrir les baies, on y substitue des plates-bandes (espèce de voûtes) en moellons ou meulières taillés en voussoirs (*fig.* 319); un renformis fait sous l'enduit, ou un ébrasement en menuiserie cache ordinairement le léger cintre qu'on donne à ces espèces de voûtes. Ces plates-bandes se construisent aussi souvent en briques, que l'on pose en largeur ou en longueur, selon l'ouverture de l'arceau (*fig.* 319).

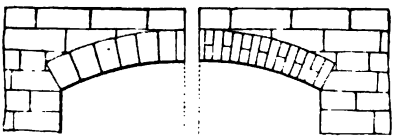


Fig. 319.

Les linteaux se forment quelquefois d'une seule pierre; mais

ce ne peut être que pour d'assez faibles ouvertures, puisqu'alors cette pierre, travaillant à la flexion, se trouve dans de mauvaises conditions de résistance; aussi est-on obligé d'établir une voûte en dessus, pour les décharger en reportant sur les chambranles le poids de la maçonnerie qui les surmonte.

Les plates-bandes en pierre, formées de plusieurs voussoirs ou claveaux appareillés (*fig.* 320), donnent des résultats préférables aux linteaux formés d'une seule pierre; quand les baies ont une certaine largeur, on encastre dans les intrados des plates-bandes un ou deux linteaux en fer dont les extrémités reposent sur les sommiers. Ces linteaux doivent être peints à l'huile ou goudronnés, et l'on remplit de plâtre colorié de la même couleur que la pierre (en y mêlant un peu d'ocre jaune), les entailles faites pour les recevoir, lesquelles doivent avoir une profondeur suffisante pour qu'il y ait au moins 1 centimètre de plâtre sur le fer; il est bon que ces linteaux portent quelques aspérités faites à chaud, au moyen du ciseau, pour retenir le plâtre.

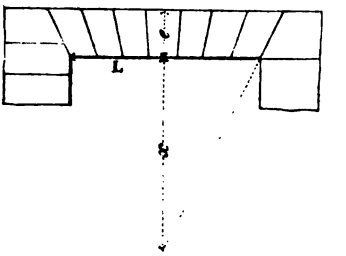


Fig. 320.

Dans une voûte appareillée en plate-bande (*fig.* 320) on a, toutes les dimensions étant exprimées en mètres,

$$e = \frac{L + 5}{14} \quad \text{et} \quad x = \frac{3\,(L^2 - e^2)}{2e}.$$

L, moitié de la largeur à recouvrir;
e, épaisseur de la plate-bande;
x, distance du point de concours de tous les plans de joints à l'intrados de la plate-bande.

Pour $L = 0^m,80$, les formules précédentes donnent :

$$e = \frac{0,80 + 5}{14} = 0,414 \quad \text{et} \quad x = \frac{3\,(0,80^2 - 0,414^2)}{2 \times 0,414} = 1^m,70.$$

Les systèmes des figures 321 à 323 ont le défaut, s'il se produit un tassement, de voir se rompre quelquefois leurs crochets d'arrêt ; aussi se contente-t-on le plus souvent de faire les plates-bandes de baie ou d'architrave avec des claveaux simples plus ou moins inclinés et de les armer de fer dans les architraves (*fig.* 325).

La figure 321 montre des claveaux à harpes ; la figure 322, des claveaux à crossettes ; et la figure 323, des claveaux à dents.

L'*écoinçon* est une pierre ou partie de mur qui, dans le pied-

droit d'une baie, fait l'encoignure d'une embrasure. Quand le pied-droit ne fait pas parpaing, cette pierre est jointe avec le *lancis* des baies.

Dans la figure 324 on voit, dans l'angle, un premier écoinçon

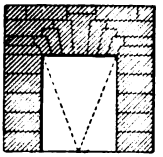


Fig. 321.

Fig. 322.

Fig. 323.

formé par le mur et la porte, et un second formé par le mur et la fenêtre.

On couronne les baies au moyen d'un *encorbellement*, pour des

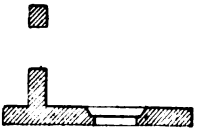


Fig. 324.

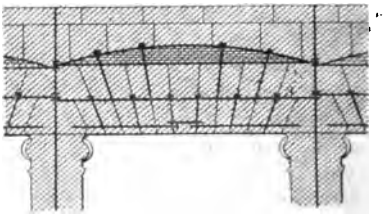


Fig. 325.

constructions pittoresques ou de fantaisie ; il consiste à disposer les assises supérieures de manière à ce qu'elles forment saillie sur les assises inférieures.

Pose des claveaux formant la partie supérieure d'une fenêtre. — On fait un échafaudage pour maintenir le poids du linteau ; 2 madriers dont la longueur égale la largeur de la fenêtre sont placés horizontalement à la partie supérieure et reposent sur des chapeaux ou traverses en bois dont la longueur égale l'épaisseur du mur; ces chapeaux sont portés chacun par 2 boulins ou madriers se butant dans le pied, au milieu de la fenêtre, ou dans chaque angle en bas de la fenêtre, en se croisant. On les scelle légèrement avec du plâtre dans le pied et dans le haut.

On pose ensuite un linteau en fer carré en creusant sur le tas 2 trous dans les sommiers; si le linteau doit être scellé à $0^m,15$, on fait un trou de $0^m,15$ d'un côté et de $0^m,30$ de l'autre, cette dernière profondeur étant nécessaire pour passer le linteau en fer. Ce linteau se pose en contre-haut du niveau supérieur de la fenêtre, afin de laisser la place de l'ébrasement.

Chaque claveau est installé à la partie inférieure pour qu'il

puisse être placé à cheval sur le linteau. On pose toutes les pierres de clavage et on les cale sur les traverses de cintrage. Pour les manœuvrer à volonté, on met des coins dans le haut de chaque joint en les plaçant à 0m,10 au moins des deux faces de chaque pierre, car la pression des coins pourrait l'écorner, si on ne prenait pas cette précaution ; il y a 2 coins par joint. Ces coins servent donc à régler la place des claveaux ; ils seront arrachés après le coulage du plâtre dans les joints.

Les **portes** sont construites de la même façon que les fenêtres. La partie inférieure de la porte s'appelle *seuil*.

Les seuils se font en pierre dure ou en grès. Dans les constructions en briques, le seuil est formé d'une rangée de briques dures posées sur champ et liées par un mortier de chaux hydraulique. On recouvre cette maçonnerie d'une frise de chêne, goudronnée en dessous et sur ses faces verticales latérales.

Sur le parement extérieur des portes et fenêtres, on souligne les jambages et le linteau par un bandeau ou *chambranle*.

Voûtes

La surface intérieure des voûtes est engendrée par une droite qui se meut en restant horizontale et en s'appuyant sur une demi-circonférence dont le diamètre est égal à la distance des pieds-droits, ce qui donne une voûte en *plein cintre* (*fig.* 329) ; ou sur une demi-ellipse ou une courbe à plusieurs centres, dont les extrémités sont, comme dans le cas précédent, tangentes aux pieds-droits, ce qui donne une voûte en *anse de panier* (*fig.* 327) ; ou sur un seul arc de cercle rencontrant les pieds-droits suivant

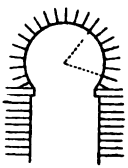


Fig. 326. — Arc en fer à cheval (plein cintre outrepassé).

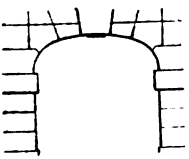


Fig. 327. — Arc en anse de panier.

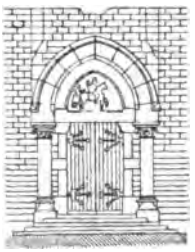


Fig. 328. — Arc en ogive.

un angle dont la valeur est moindre que 90°, ce qui donne une voûte en arc de cercle ; ou enfin sur deux arcs qui rencontrent les pieds-droits tangentiellement ou suivant un certain angle et qui se réunissent sur la verticale passant au milieu de l'intervalle des pieds-droits, ce qui donne une voûte en ogive (*fig.* 328).

Voûtes. — La *voûte en berceau* est formée d'un demi-cylindre circulaire (plein cintre) ou elliptique ; on l'emploie pour caves, écuries, orangeries, etc. (*fig.* 329).

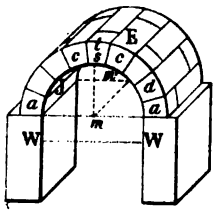


Fig. 329.—Plein cintre.

WW, ligne des naissances (portée ou ouverture de la voûte) ;
WsW, courbe directrice ;
sm, flèche ou montée, hauteur verticale de la clef au-dessus des naissances ;
E, extrados (surface extérieure au-dessus de la voûte) ;
J, intrados ou douelle (surface intérieure ou parement de la voûte) ;
W, murs de butée ou de retombée ou pieds-droits, jambages ou dosserets (parties du mur sur lesquelles s'élève l'arc) ;
a, *d*, etc., voussoirs ou claveaux en coin ;
a, coussinet ou sommier, pierre qui présente le joint de naissance de retombée de l'arc ;
c. *c*, contre-clefs ;
t, clef de voûte ;
s, sommet de la voûte ou point le plus élevé de l'intrados.

Une voûte, un arc, sont divisés en solides que l'on appelle *voussoirs*. Les voussoirs sont séparés par des joints. On nomme *joints de lit* les surfaces suivant lesquelles les assises se touchent. Ces surfaces sont inclinées, mais leur direction dans le sens de la longueur est ordinairement horizontale. Les surfaces qui divisent chaque assise en claveaux sont appelées *joints de tête* ou *de face* ou *joints montants*, et sont ordinairement verticales. Ces joints sont apparents et forment parement à la douelle et à la tête de la voûte.

Les joints montants doivent être perpendiculaires aux joints de lits et normaux à l'intrados.

La portion de l'intrados contenue dans une même assise porte le nom de *douelle*. Les lignes qui divisent l'intrados en douelles ou en assises portent le nom d'*arêtes de douelles ;* celles qui divisent une même douelle en voussoirs sont les *coupes*. La surface terminale se nomme *parement* ou *plan de tête*.

Un arc présente à son sommet un voussoir formant coin que l'on appelle clef. Les joints transversaux doivent se contrarier et alterner. Il convient, dans une voûte en berceau, de combiner les assises ou rangées de voussoirs de manière que leur nombre soit impair, afin qu'il y ait une rangée rectiligne de voussoirs au milieu ou sommet de la voûte, pour former clef dans toute l'épaisseur.

L'appareil d'une voûte en voussoirs à *crossettes* est mauvais. La crossette est le prolongement d'un voussoir au-dessus de la face d'extrados de celui qui est inférieur.

L'*engrenure* est une disposition des claveaux d'un arc double et quelquefois triple, insérés les uns dans les autres par encastrement (*fig.* 331) ou en manière de coins (*fig.* 332). La première disposition rend l'arc plus solide ; la seconde a surtout pour but la décoration, bien que, pour ce mode de construction, les claveaux se déchargent réciproquement à la manière des pièces d'un appareil réticulé.

On construit aussi des voûtes dont la courbe est formée d'une partie de circonférence.

La *voûte surbaissée* est celle qui est moins élevée qu'un demi-diamètre de circonférence (*fig.* 330).

La *voûte surhaussée* est celle qui est plus élevée qu'un demi-diamètre de circonférence.

Les *voûtes plates* ou en *plates-bandes* sont des plafonds construits

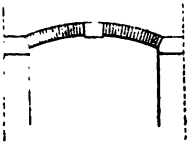


Fig. 330. — Arc surbaissé.

Fig. 331.

Fig. 332.

en pierres appareillées ayant la forme de voussoirs (*fig.* 317 et 320) ; on peut les considérer comme des voûtes surbaissées dont la flèche serait réduite à zéro ; leur stabilité ne résulte que de l'emploi d'armatures (voir *Plates-bandes*).

Une voûte en berceau est *biaise* quand les plans de tête ne sont pas normaux à son axe ; elle est dite *en descente* lorsque cette dernière ligne est inclinée sur l'horizon.

Les *voûtes sphériques* ou en *dôme* sont formées par la révolution sur son axe, d'un quart ou d'un demi-cercle ; elles supposent un pied-droit continu circulaire (*tambour*) et recouvrent un espace circulaire. La surface d'intrados est une sphère.

Mais on peut aussi couvrir des espaces rectangulaires avec des voûtes sphériques ; pour cela, on se sert d'une courbe tracée avec le rayon du cercle qui circonscrit le rectangle donné, et cette ligne est prise comme génératrice. Les quatre portions, produites par la révolution de ladite courbe sur son axe, en dehors des faces verticales de l'espace à couvrir, sont supprimées (*fig.* 333) ; il n'y a plus alors qu'une calotte sphérique ayant 4 points d'appui. 4 triangles sphériques que l'on nomme *pendentifs*, rattachent la sphère à ses points d'appui ; la voûte est alors appelée *cul-de-four* sur pendentifs.

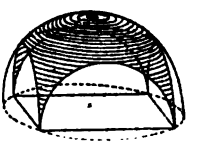


Fig. 333.

Il peut arriver que la calotte sphérique, ou cul-du-four, soit elle-même enlevée, et qu'il ne reste plus que les pendentifs au-dessus desquels s'élève une tour cylindrique, ou *tambour*, portant le dôme.

La *voûte en pendentifs* est formée, en somme, d'une demi-sphère percée par des demi-cylindres de même naissance, mais de moindre hauteur. Les pendentifs sont les parties inférieures de la voûte sphérique comprise entre les berceaux.

Les polygones irréguliers peuvent être aussi recouverts de voûtes sphériques, à la condition qu'on puisse les inscrire dans un cercle. Le rayon de ce cercle tracera l'intrados de la voûte dont on retranchera les parties en dehors de l'espace à couvrir.

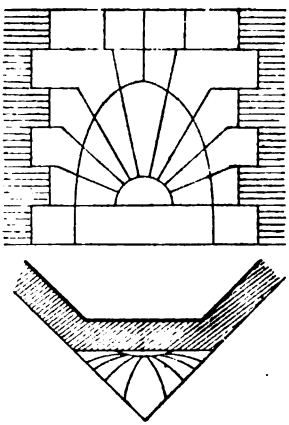


Fig. 334 et 335.

La *trompe* est une partie de voûte ou encorbellement destinée à recevoir un angle saillant d'une construction (*fig.* 334 et 335).

Les *culs-de-four de niche*, ou voûtes sphériques, reposent sur une demi-circonférence et forment un quart de sphère.

Les *voûtes elliptiques*, *paraboliques*, en *ogive*, en *anse de panier*, etc., sont celles dont la surface est produite par une ellipse, une parabole, une ogive ou une anse de panier (courbe à plusieurs centres) faisant révolution sur son axe.

Lorsqu'une voûte en berceau est croisée par d'autres voûtes de même forme, mais de moindre hauteur, on dit que ces voûtes forment *pénétration*, et l'ensemble prend le nom de *voûte en berceau avec lunettes*.

Les *niches* sont des enfoncements pratiqués dans l'épaisseur d'un mur, pour y placer, dans un but décoratif, une statue, un vase, etc. La niche est dite carrée ou circulaire, selon que son plan est rectangulaire ou circulaire. En principe, la hauteur doit être 2 fois la largeur.

La *voûte d'arête* est l'intersection de 2 voûtes en berceau de même hauteur ou est formée par la rencontre de 4 lunettes [1] ;

[1] La *lunette* est l'ouverture formée par la pénétration d'une voûte en berceau dans une voûte ordinairement d'un plus grand rayon. Quand elle coupe obliquement le berceau, on la nomme *lunette biaise ;* lorsque son axe est incliné à l'horizon, comme sous un escalier, on l'appelle *lunette rampante ;* enfin, quand une voûte en pénètre une autre et que

cet appareil offre 4 arêtes saillantes et courbes (*fig.* 336 et 337).

Les voûtes d'arête romanes sont à plein cintre ; celles de l'époque ogivale sont aiguës, à tiers-point. On les emploie pour caves, écuries, orangeries, etc. On peut élever une voûte d'arête sur un rectangle quelconque ; dans ce cas, un des berceaux sera surbaissé en anse de panier ou en ellipse ; l'autre sera à plein cintre, afin que les arêtes arrivent au même niveau.

Les *voûtes à nervures* sont des voûtes dont les arêtes sont saillantes et supportent un remplissage.

La *voûte en arc de cloître* est formée de l'intersection de deux berceaux naissants sur le pourtour d'un espace rectangulaire à

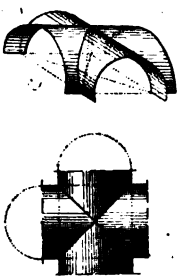


Fig. 336 et 337.

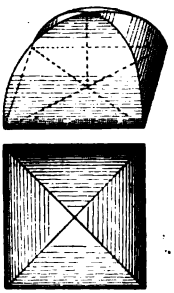


Fig. 338 et 339.

couvrir, de telle sorte que les arêtes soient rentrantes (*fig.* 338 et 339). Ces voûtes sont d'un usage assez restreint; elles ont l'inconvénient de ne pas admettre facilement l'ouverture des portes et fenêtres, et occupent plus de place que celles en berceau.

La voûte en arc de cloître *barlongue* est une voûte en arc de cloître sur un espace beaucoup plus long que large.

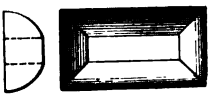


Fig. 340.

La voûte en arc de cloître barlongue, *tronquée* à la partie supérieure, formant plafond au milieu est (*fig.* 340) convenable pour grandes salles élevées sur plan barlong. Ces voûtes s'appellent voûtes en arc de cloître *avec plafond ou plafonds avec voussures* suivant que le développement de la

l'axe de la première est perpendiculaire à l'axe de la seconde, la lunette est dite *droite*. Quand un berceau pénètre dans une autre voûte annulaire, on le nomme *berceau tournant ;* mais, quelle que soit la forme de la courbe qui limite la pénétration d'une voûte dans une autre, on nomme cette courbe limitante *arêtier*, ce qui fait qu'une voûte d'arête est composée de 4 lunettes. Quand les voûtes sphériques et en berceau sont éclairées par une ouverture conique, on nomme celle-ci *lunette conique*.

partie voûtée l'emporte ou non sur celui de la surface plane. Ces voûtes se font surtout en charpente. La forme qui convient le mieux est celle qui résulte de la division de la largeur en 3 parties égales, dont 2 pour les parties cintrées et 1 pour le plafond.

Les *voûtes en descente*, ou *voûtes rampantes*, droites ou biaises, sont des berceaux inclinés couvrant des escaliers et coupant droit ou de biais les murs qu'ils rencontrent.

Les *arcs* sont des voûtes de peu d'épaisseur dans les murs.

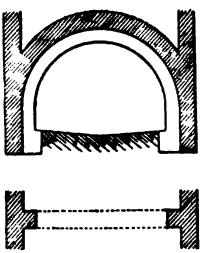


Fig. 341.

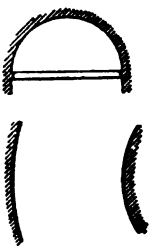


Fig. 342 à 344.

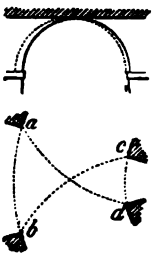


Fig. 345 et 346.

Les *arcs-doubleaux*, ou nervures, sont des arcs renforçant un berceau (*fig.* 341).

Les *voûtes annulaires en berceau* sont des voûtes cylindriques construites sur un plan curviligne (*fig.* 342 à 344) ; elles sont établies sur deux murs circulaires concentriques. Leur axe peut être horizontal ou incliné ; dans ce dernier cas, la voûte est dite *en descente*. Si un berceau annulaire est croisé par une voûte comprise entre des plans normaux à sa direction, il en résulte une voûte d'arête en tour ronde (*fig.* 345 et 346). Les bas-côtés entourant le chœur des églises gothiques présentent ce genre de voûtes.

Matériaux employés. — Les voûtes des maisons d'habitation (plein cintre) sont plus souvent en briques ou en meulière ou moellons smillés ou piqués; les pieds-droits, les portes de communication d'un berceau à l'autre se font en pierre de taille.

Les voûtes d'arête se font en pierre de taille.

Épaisseurs courantes (d'après Daniel Ramée). — Dans les maisons d'habitation, une voûte en berceau de plein cintre de $5^m,80$ à $6^m,30$ de large peut n'avoir que $0^m,32$ d'épaisseur à son sommet ou clef, et de $0^m,48$ à $0^m,65$ à sa naissance. Pour les voûtes de $4^m,75$ à $5^m,80$ de large, l'épaisseur se réduit à la clef à $0^m,16$ ou $0^m,18$, mais alors on renforce longitudinalement tous les 1 mètre ou $1^m,50$ d'arcs doubleaux (de $0^m,48$ à $0^m,60$) affleurant l'intrados.

Pour les voûtes de $3^m,25$ à $4^m,75$, les arcs-doubleaux s'établissent à $3^m,40$ environ les uns des autres; on leur donne de 1/2 à 1 brique 1/2 de saillie.

Les voûtes de caves doivent avoir $0^m,30$ à $0^m,32$ d'épaisseur.

Quand la largeur de la voûte est considérable ou que cette voûte doit supporter de fortes charges, on donne aux voûtes en berceau, à leur sommet, 1 brique, 1 brique 1/2 d'épaisseur, et l'on augmente cette épaisseur jusqu'aux murs de retombée, où on la fait souvent double de celle de la clef.

Une voûte en berceau formant arche d'un pont très chargé doit avoir à la clef $0^m,33$, plus autant de fois 1 millimètre 1/3 qu'il y a de fois $0^m,33$ dans la corde de l'arc.

Pour les voûtes de caves et celles de charge moyenne la moitié de cette épaisseur suffit; pour les voûtes qui n'ont qu'à se supporter 1/4 suffit, en admettant toutefois que l'épaisseur de la voûte soit le double de la clef en arrivant aux murs de retombée.

Extradosser une voûte, c'est rendre le parement extérieur aussi uni que celui de l'intrados (exemple : *fig.* 329).

Dans les voûtes bien construites il ne doit pas pouvoir se produire de désunions; mais, dans le cas où il viendrait à s'en faire, la résistance des parties inférieures doit balancer cet effet.

Pour éviter les inconvénients des désunions, on remplit les reins avec des garnis et recoupes de pierres, un bain de plâtre ou de mortier ou avec un béton de pierrailles, déchets de meulière et chaux. Les *reins* sont les parties *a* comprises entre les retombées de la voûte et la tangente menée de la voûte (*fig.* 347). Pour les voûtes en berceau, la hauteur des reins peut être un peu moins des 4/5 de la hauteur totale de la voûte.

Un arc extradossé, d'épaisseur constante dans toute sa courbure, doit avoir une épaisseur supérieure au 1/50 du rayon pour pouvoir se soutenir. Pour les voûtes en berceau de $2^m,95$ à $4^m,90$ de rayon, cette épaisseur doit être de $0^m,11$, soit qu'on la forme d'un rang de briques posées sur champ ou de deux rangs de briques posées à plat[1]. Pour les voûtes en pierres tendres, il faut $0^m,135$, et cette épaisseur doit être augmentée depuis la clef jusqu'aux pieds-droits.

Pour les voûtes surbaissées formées d'un seul arc de cercle, la moindre épaisseur doit être la 1/5 partie de la corde *mn* d'une de ses moitiés (*fig.* 347); de même pour les voûtes à ogive ou à tiers-point et à plein cintre.

Pour les voûtes maçonnées en plâtre, on ajoutera 2 millimètres par $0^m,33$ de longueur ou 1/144 de la corde *mn*. Pour les voûtes

[1] Les voûtes de 3 mètres à $3^m,25$ de largeur peuvent être construites avec 1/2 brique d'épaisseur, mais à la condition que les reins soient pleins.

maçonnées en mortier on ajoutera 1/96; pour celles en pierre de taille tendre, 1/72.

Cette épaisseur ira en augmentant depuis la clef jusqu'au point *c* (*fig.* 476), où la voûte se détache des reins et où elle aura 1 fois 1/2 l'épaisseur trouvée pour le milieu de la clef.

Les voûtes d'arête, d'arcs de cloître et les voûtes sphériques de même diamètre que celles en berceau peuvent avoir moins d'épaisseur; il n'y a pas à tenir compte, dans ce cas, des adjonc-

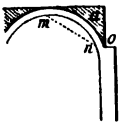


Fig. 347.

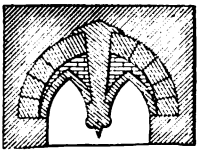


Fig. 348.

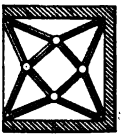


Fig. 349. — Voûte à nervures avec 4 clefs pendantes.

tions indiquées. Les voûtes d'arête qui ne supportent que leur poids peuvent n'avoir que 1/2 brique d'épaisseur.

Les *arcs en tiers-point* ou *en ogive* tendent à se soulever au sommet; pour combattre cet effet, les arcs diagonaux sont souvent fermés à leur sommet en demi-cercle, cet aplatissement étant dissimulé au moyen de clefs en *pendentifs* ou *clefs pendantes* ornées au point de l'intersection des arcs (*fig.* 348).

La *flèche* ou *montée* d'une voûte doit être au moins:

Jusqu'à 10 mètres	=	1/12	de l'ouverture de la voûte.
De 10 à 20 —	=	1/10	
De 20 à 30 —	=	1/8	
De 30 à 60 —	=	1/6	

On donne le nom d'*arches* aux voûtes de pont; et, si le pont est en bois, la charpente qui remplace une arche s'appelle *travée*.

Dans un pont les *pieds-droits* ou appuis extrêmes prennent le nom de *culées*, et ceux intermédiaires celui de *piles* quand ils sont en pierre, et de *palées* lorsqu'ils sont en bois.

Les voûtes peuvent être montées ou tout au moins se soutenir sans cintre jusqu'au plan de joint qui forme un angle de 30°, et même plus, avec l'horizontale. Une voûte peut être considérée comme composée de trois parties : l'une moyenne, rachetant un angle de 120° au plus, laquelle forme la voûte proprement dite; les deux autres latérales et rachetant chacune un angle de 30° au moins, lesquelles fonctionnent comme culées ou pieds-droits. Sous le nom de culées on doit entendre la portion de voûte au-dessous du joint incliné à 60° sur la verticale (*joint extrême*).

Choix d'un système de voûtes. — 1° La disposition la plus économique est celle pour laquelle *le rapport des vides aux pleins, dans le profil des maçonneries, sera le plus considérable. On l'obtiendra presque toujours en adoptant des pleins cintres ou des arcs de cercle sur pieds-droits;*

2° *Lorsqu'une voûte donne passage à un cours d'eau de niveau variable, la voûte en arc de cercle sur pieds-droits doit être préférée;*

3° *S'il s'agit de deux rangs de voûtes superposées, et que chaque voûte du rang inférieur doive supporter à son sommet un pied-droit du rang supérieur, la voûte en ogive est seule admissible pour le rang inférieur;*

4° *Lorsqu'une série de petites voûtes doit être superposée à une série de voûtes d'une ouverture beaucoup plus considérable, les voûtes du rang inférieur doivent avoir pour intrados un arc de cercle à petite flèche;*

5° *Les deux systèmes précédents pourront être réunis lorsqu'on voudra occuper une hauteur considérable, au moyen de trois rangs de voûtes superposées. On atteindrait le même but au moyen de trois rangs d'ogives superposées*, le nombre des voûtes étant n au rang inférieur, $2n$ au second, $4n$ au troisième.

Les voûtes en anse de panier sont intermédiaires entre celles en plein cintre et celles en arc de cercle; celles à intrados elliptique sont souvent adoptées.

Formes des piles. — Les piles se construisent sur plan rectangulaire; mais on les détermine en amont et en aval par un massif de maçonnerie faisant saillie sur les têtes du pont; le massif d'amont s'appelle *avant-bec*, et celui d'aval *arrière-bec*. Ces becs s'élèvent jusqu'au-dessus des plus hautes eaux; dans les ponts en plein cintre et en anse de panier ils peuvent s'élever au-dessus des naissances; dans les ponts en arc de cercle on les termine aux naissances. On surmonte les becs de demi-cônes qui les raccordent avec les *tympans* de pont.

Le fruit des piles ne doit pas être supérieur à 1/20 ou 1/15.

Les avant-becs sont destinés à préserver les massifs des piles du choc des corps flottants et à faciliter le passage de l'eau.

Sur des piles de $0^m,15$ d'épaisseur et de diverses formes, le canal ayant $0^m,50$ de largeur, l'eau y circulant sur une épaisseur de $0^m,04$ et avec une vitesse de $3^m,90$ par seconde, Gauthey a reconnu que la forme rectangulaire était la plus défavorable, les expériences ont conduit à adopter la forme triangulaire équilatérale, ou mieux celle en arcs de cercle; mais les angles aigus que ces formes présentent aux chocs des glaces et des autres corps flottants sont promptement endommagés: aussi donne-t-on la préférence aux avant-becs demi-circulaires.

Une forme elliptique concilierait en partie les avantages de la forme circulaire et de celle en arc de cercle.

Pour les ponts biais[1] on emploie la disposition elliptique, ou une forme composée de deux arcs de cercles tangents entre eux et aux faces de la pile.

Tracés des voûtes en plein cintre et en arc de cercle. — Dans une voûte en arc de cercle, désignant par m la montée, par l la demi-distance des pieds-droits, par r le rayon de l'arc d'intrados, et par a l'amplitude du demi-arc d'intrados, c'est-à-dire l'angle que font les joints des naissances avec la verticale, on a :

$$r = \frac{1}{2}\left(\frac{l^2}{m} + m\right) \qquad \text{ou} \qquad r = \frac{l^2 + m^2}{2m}.$$

$$\text{et } \sin a = \frac{l}{r}.$$

La rapport $\frac{m}{2l}$ de la montée à l'*ouverture* est appelé le *surbaissement* de la voûte, et l'on dit qu'une voûte est *surbaissée* au tiers, au quart, etc., selon que ce rapport est $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$, etc.

On trouve des arcs d'intrados de toutes les amplitudes, depuis $2a = 30°$ jusqu'à $2a = 90°$, et même au delà ; dans les premiers, la montée est à peu près le 1/13 de l'ouverture, et dans les seconds elle est environ le 1/5 ; mais dans les voûtes en arc de cercle qui satisfont le mieux aux besoins ordinaires, $2a$ varie généralement de 50° à 70° ; pour $2a = 60°$ on a :

$$r = 2l, \qquad m = r\left(1 - \frac{\sqrt{3}}{2}\right) = r \times 0{,}134,$$

et l'arc d'intrados a pour longueur $\frac{\pi}{3} r = r \times 1{,}047$.

La table suivante, de Sganzin, donne les nombres A, correspondant à des valeurs déterminées du rapport $\frac{m}{2l}$ qu'il faut multiplier par l'ouverture $2l$ pour avoir la longueur de l'arc d'intrados.

[1] Voir *Ponts biais*, par J. Claudel et L.-A. Barré, 1862.

RAPPORTS $\frac{m}{2l}$	VALEURS de A	RAPPORTS $\frac{m}{2l}$	VALEURS de A	RAPPORTS $\frac{m}{2l}$	VALEURS de A	RAPPORTS $\frac{m}{2l}$	VALEURS de A
0,100	1,02645	0,151	1,05973	0,201	1,10447	0,251	1,16033
0,101	1,02698	0,152	1,06051	0,202	1,10548	0,252	1,16157
0,102	1,02752	0,153	1,06130	0,203	1,10650	0,253	1,16279
0,103	1,02806	0,154	1,06209	0,204	1,10752	0,254	1,16402
0,104	1,02860	0,155	1,06288	0,205	1,10855	0,255	1,16526
0,105	1,02914	0,156	1,06368	0,206	1,10958	0,256	1,16649
0,106	1,02970	0,157	1,06449	0,207	1,11062	0,257	1,16774
0,107	1,03026	0,158	1,06530	0,208	1,11165	0,258	1,16899
0,108	1,03082	0,159	1,06611	0,209	1,11269	0,259	1,17024
0,109	1,03139	0,160	1,06693	0,210	1,11374	0,260	1,17150
0,110	1,03196	0,161	1,06775	0,211	1,11479	0,261	1,17275
0,111	1,03254	0,162	1,06858	0,212	1,11584	0,262	1,17401
0,112	1,03312	0,163	1,06941	0,213	1,11692	0,263	1,17527
0,113	1,03371	0,164	1,07025	0,214	1,11796	0,264	1,17655
0,114	1,03430	0,165	1,07109	0,215	1,11904	0,265	1,17784
0,115	1,03490	0,166	1,07194	0,216	1,12011	0,266	1,17912
0,116	1,03551	0,167	1,07279	0,217	1,12118	0,267	1,18040
0,117	1,03611	0,168	1,07365	0,218	1,12225	0,268	1,18162
0,118	1,03672	0,169	1,07451	0,219	1,12324	0,269	1,18294
0,119	1,03734	0,170	1,07537	0,220	1,12445	0,270	1,18428
0,120	1,03797	0,171	1,07624	0,221	1,12556	0,271	1,18557
0,121	1,03860	0,172	1,07711	0,222	1,12663	0,272	1,18688
0,122	1,03923	0,173	1,07799	0,223	1,12774	0,273	1,18819
0,123	1,03987	0,174	1,07888	0,224	1,12885	0,274	1,18969
0,124	1,04051	0,175	1,07977	0,225	1,12997	0,275	1,19082
0,125	1,04116	0,176	1,08066	0,226	1,13108	0,276	1,19214
0,126	1,04181	0,177	1,08156	0,227	1,13219	0,277	1,19345
0,127	1,04247	0,178	1,08246	0,228	1,13331	0,278	1,19477
0,128	1,04313	0,179	1,08337	0,229	1,13444	0,279	1,19610
0,129	1,04380	0,180	1,08428	0,230	1,13557	0,280	1,19743
0,130	1,04447	0,181	1,08519	0,231	1,13671	0,281	1,19887
0,131	1,04515	0,182	1,08611	0,232	1,13786	0,282	1,20011
0,132	1,04584	0,183	1,08704	0,233	1,13903	0,283	1,20146
0,133	1,04652	0,184	1,08797	0,234	1,14020	0,284	1,20282
0,134	1,04722	0,185	1,08890	0,235	1,14136	0,285	1,20419
0,135	1,04792	0,186	1,08984	0,236	1,14247	0,286	1,20558
0,136	1,04862	0,187	1,09079	0,237	1,14363	0,287	1,20696
0,137	1,04932	0,188	1,09174	0,238	1,14480	0,288	1,20828
0,138	1,05003	0,189	1,09269	0,239	1,14597	0,289	1,20967
0,139	1,05075	0,190	1,09365	0,240	1,14714	0,290	1,21102
0,140	1,05147	0,191	1,09461	0,241	1,14831	0,291	1,21230
0,141	1,05220	0,192	1,09557	0,242	1,14949	0,292	1,21381
0,142	1,05293	0,193	1,09654	0,243	1,15067	0,293	1,21520
0,143	1,05367	0,194	1,09752	0,244	1,15186	0,294	1,21658
0,144	1,05441	0,195	1,09850	0,245	1,15308	0,295	1,21794
0,145	1,05516	0,196	1,09949	0,246	1,15429	0,296	1,21926
0,146	1,05591	0,197	1,10048	0,247	1,15549	0,297	1,22061
0,147	1,05667	0,198	1,10147	0,248	1,15670	0,298	1,22203
0,148	1,05743	0,199	1,10247	0,249	1,15791	0,299	1,22347
0,149	1,05819	0,200	1,10348	0,250	1,15912	0,300	1,22495
0,150	1,05896						

RAPPORTS $\frac{m}{2l}$	VALEURS de A	RAPPORTS $\frac{m}{2l}$	VALEURS de A	RAPPORTS $\frac{m}{2l}$	VALEURS de A	RAPPORTS $\frac{m}{2l}$	VALEURS de A
0,301	1,22635	0,351	1,30156	0,401	1,38496	0,451	1,47565
0,302	1,22776	0,352	1,30315	0,402	1,38671	0,452	1,47753
0,303	1,22918	0,353	1,30474	0,403	1,38846	0,453	1,47942
0,304	1,23061	0,354	1,30634	0,404	1,39021	0,454	1,48131
0,305	1,23205	0,355	1,30794	0,405	1,39196	0,455	1,48320
0,306	1,23349	0,356	1,30954	0,406	1,39372	0,456	1,48509
0,307	1,23491	0,357	1,31115	0,407	1,39548	0,457	1,48699
0,308	1,23636	0,358	1,31276	0,408	1,39724	0,458	1,48889
0,309	1,23780	0,359	1,31437	0,409	1,39900	0,459	1,49079
0,310	1,23925	0,360	1,31599	0,410	1,40077	0,460	1,49269
0,311	1,24070	0,361	1,31761	0,411	1,40254	0,461	1,49460
0,312	1,24216	0,362	1,31923	0,412	1,45432	0,462	1,49651
0,313	1,24360	0,363	1,32086	0,413	1,40610	0,463	1,49842
0,314	1,24506	0,364	1,32249	0,414	1,40788	0,464	1,50033
0,315	1,24654	0,365	1,32413	0,415	1,40966	0,465	1,50224
0,316	1,24801	0,366	1,32577	0,416	1,41145	0,466	1,50416
0,317	1,24946	0,367	1,32741	0,417	1,41324	0,467	1,50608
0,318	1,25095	0,368	1,32905	0,418	1,41503	0,468	1,50800
0,319	1,25243	0,369	1,33069	0,419	1,41682	0,469	1,50992
0,320	1,25391	0,370	1,33234	0,420	1,41861	0,470	1,51185
0,321	1,25539	0,371	1,33399	0,421	1,42041	0,471	1,51378
0,322	1,25686	4,372	1,33564	0,422	1,42222	0,472	1,51571
0,323	1,25836	0,373	1,33730	0,423	1,42402	0,473	1,51764
0,324	1,25987	0,374	1,33896	0,424	1,42582	0,474	1,51958
0,325	1,26137	0,375	1,34063	0,425	1,42764	0,475	1,52152
0,326	1,26286	3,376	1,34229	0,426	1,42945	0,476	1,52346
0,327	1,26437	0,377	1,34396	0,427	1,43127	0,477	1,52541
0,328	1,26588	0,378	1,34563	0,428	1,43309	0,478	1,52736
0,329	1,26740	0,379	1,34731	0,429	1,43491	0,479	1,52931
0,330	1,26892	0,380	1,34899	0,430	1,43673	0,480	1,53126
0,331	1,27044	0,381	1,35008	0,431	1,43856	0,481	1,53322
0,332	1,27196	0,382	1,35237	0,432	1,44039	0,482	1,53518
0,333	1,27349	0,383	1,35406	0,433	1,44222	0,483	1,53714
0,334	1,27502	0,384	1,35575	0,434	1,44405	0,484	1,53910
0,335	1,27656	0,385	1,35744	0,435	1,44589	0,485	1,54106
0,336	1,27810	0,386	1,35914	0,436	1,44773	0,486	1,54302
0,337	1,27964	0,387	1,36084	0,437	1,44957	0,487	1,54499
0,338	1,28118	0,388	1,36254	0,438	1,45142	0,488	1,54696
0,339	1,28273	0,389	1,36425	0,439	1,45327	0,489	1,54893
0,340	1,28428	0,390	1,36596	0,440	1,45512	0,490	1,55090
0,341	1,28589	0,391	1,36767	0,441	1,45697	0,491	1,55288
0,342	1,28739	0,392	1,36939	0,442	1,45883	0,492	1,55486
0,343	1;28895	0,393	1,37111	0,443	1,46069	0,493	1,55685
0,344	1,29052	0,394	1,37283	0,444	1,46255	0,494	1,55884
0,345	1,29209	0,395	1,37455	0,445	1,46441	0,495	1,56083
0,346	1,29366	0,396	1,37628	0,446	1,46628	0,496	1,56282
0,347	1,29523	0,397	1,37805	0,447	1,46815	0,497	1,56481
0,348	1,29681	0,398	1,37974	0,448	1,47002	0,498	1,56680
0,349	1,29839	0,399	1,38148	0,449	1,47189	0,499	1,57879
0,350	1,29997	0,400	1,38322	0,450	1,47377	0,500	1,57079

Application. — Quelle est la longueur L d'un arc de cercle dont la corde $2l = 4^m,70$ et la flèche $m = 0^m,47$?

On a $\frac{m}{2l} = \frac{0,47}{4,70} = 0,100$; la table donne $A = 1,02645$; donc

$$L = 1,02645 \times 4,70 = 4^m,824.$$

Tracé des voûtes en anse de panier. — Les *voûtes en anse de panier* sont celles dont l'intrados a deux retombées verticales, c'est-à-dire tangentes aux pieds-droits, et qui a une flèche différente de la demi-ouverture. Ces voûtes peuvent être surhaussées ou surbaissées.

Pour tracer leur épure, on décrit l'intrados par rayons de courbure successifs, et la courbe est alors spécifiée par le nombre des centres : on en trace à 3, à 5, à 7 et jusqu'à 21 centres. On décrit souvent l'intrados suivant la figure rigoureuse d'une demi-ellipse. Voici la description d'une courbe surbaissée, proposée par Dejardin, qui se confond pratiquement avec une demi-ellipse, et dont le tracé peut être fait par rayons de courbure successifs aussi rapprochés qu'on voudra, c'est-à-dire à un nombre quelconque de centres, sans aucun calcul, et suivant un procédé purement graphique :

Diviser l'ouverture *ab* en 6 parties égales $ad = de =$ etc. (*fig.* 350) ; par les points de division extrêmes *d*, *g*, mener les lignes *rdt*, *sgt*, qui fassent chacune un angle de 60° avec l'horizontale, et qui se rencontrent en un point *t* sur l'axe vertical ; porter de *t* en *o* une longueur égale à celle d'une des divisions *ad*, *de*, etc. ; puis, joindre le point *a* aux seconds points de division *e*, *f* par des droites indéfinies, qui couperont en *p* et *q* les lignes *rdt*, *sgt*. Les arcs de naissances se décriront des centres *d*, *g*, et s'arrêteront en *r*, *s* ; les arcs intermédiaires se décriront des centres *p*, *q*, et s'arrêteront en *l*, *n* ; enfin l'arc du sommet se décrira du centre *o*, et terminera la courbe suivant *lmn*.

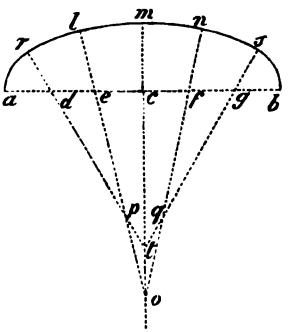


Fig. 350.

En calculant trigonométriquement la hauteur *cm*, on voit que, si $2l$ est l'ouverture totale, *ab* et *m* la montée *cm*, on a :

$$m = 2l \times 0,2463 = \frac{l}{2}.$$

Dès que la flèche d'une anse de panier descend au-dessous du 1/3 de l'ouverture, les courbes à trois centres offrent des *jarrets*,

c'est-à-dire un défaut de continuité. Si la flèche est inférieure au 1/4 de l'ouverture, 5 et même 7 centres ne sont plus suffisants. La courbe est d'autant plus correcte que le nombre des centres est plus considérable, et les variations des rayons moins brusques.

En pratique, quand le surbaissement est inférieur à 1/4, on a recours à un arc de cercle unique, et, selon que le surbaissement varie de $\frac{1}{2}$ à $\frac{1}{3}$ ou de $\frac{1}{3}$ à $\frac{1}{4}$, les anses de panier sont à 3 ou 5 centres pour les ouvertures de 1 à 10 mètres, à 5 ou 7 pour celles de 10 à 40 mètres, et à 7 ou 9 pour celles de 40 à 50.

Dans les anses de panier dont la forme se rapproche de celle de l'ellipse, les arcs de cercle, en nombre impair, dont elles se composent, doivent se raccorder tangentiellement à leurs extrémités, afin d'éviter les jarrets, et doivent être décrits avec des rayons convenablement proportionnés, afin que leur ensemble forme une courbe bien continue et ne paraissant pas s'infléchir aux points de contact des arcs. Les centres de deux arcs successifs doivent se trouver sur le même rayon passant par le point de contact des deux arcs, et les rayons aboutissant à ces points de contact doivent faire des angles égaux entre eux, et égaux au quotient de deux angles droits ou de 180° par le nombre des arcs qui doivent composer la courbe; ainsi, selon que l'anse du panier sera à 3, 5, 7, etc., centres, les divers rayons feront respectivement entre eux des angles de 60°, 36°, 25°, 714, etc. Les rayons devront, d'après Michal, être égaux aux rayons de courbure correspondants de l'ellipse, qui a les mêmes axes que l'anse de panier.

C'est d'après ces hypothèses que Michal a calculé le tableau suivant, qui renferme, pour diverses montées, les valeurs des rayons nécessaires pour effectuer le tracé; ces valeurs sont données en prenant l'ouverture pour unité.

ANSES A 3 CENTRES		ANSES A 7 CENTRES			ANSES A 9 CENTRES			
Montée	1er rayon	Montée	1er rayon	2e rayon	Montée	1er rayon	2e rayon	3e rayon
0,36	0,278	0,33	0,228	0,315	0,25	0,130	0,171	0,299
0,35	0,265	0,32	0,216	0,302	0,24	0,120	0,159	0,278
0,34	0,252	0,31	0,203	0,289	0,23	0,111	0,148	0,268
0,33	0,239	0,30	0,192	0,276	0,22	0,102	0,138	0,252
0,32	0,225	0,29	0,180	0,263	0,21	0,093	0,126	0,237
0,31	0,212	0,28	0,168	0,249	0,20	0,083	0,114	0,222
0,30	0,198	0,27	0,156	0,236				
		0,26	0,145	0,223				
		0,25	0,133	0,210				

Soient (*fig.* 351) aa' l'ouverture, et cd la montée. Quand aa' es moindre que $3cd$, on emploie l'anse de panier à trois centres. Pour la tracer sur aa' comme diamètre, on décrit une demi-circonférence que l'on divise en trois parties égales par les rayons ce et ce' ; on mène les cordes ae, ef, fe' et $e'a'$; par le point d on conduit dh parallèle à fe et dh' parallèle à fe' ; et les lignes hi et $h'i$, menées respectivement parallèles à ce et ce', déterminent les trois centres k, i et k', et par suite les rayons $ak = a'k'$ et hi de l'anse de panier $ahdh'a'$. D'abord les centres de deux arcs consécutifs sont bien placés sur le même rayon aboutissant au point de raccordement des arcs. De plus, deux rayons consécutifs font entre eux un angle de

$$\frac{180}{3} = 60^\circ ;$$

car on a : $akh = ace$, $hih' = ece'$ et $h'k'a' = e'ca'$.

Pour tracer une anse de panier à 5 centres, on suit la même marche. Ainsi, après avoir (*fig.* 352) mené les rayons cd, ce, ce' et

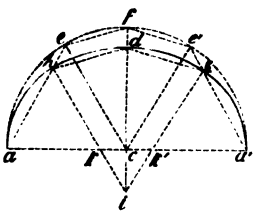


Fig. 351.

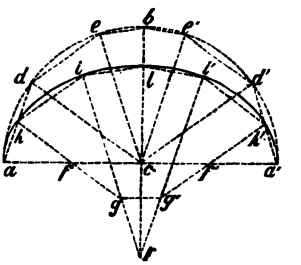


Fig. 352.

cd', divisant la demi-circonférence aba', en 5 parties égales, et les cordes ad, de, eb, etc., on prend le premier rayon af égal à la valeur consignée au tableau précédent, et l'on mène gh parallèle à cd. Conduisant ensuite hi parallèle à de et li parallèle à be, puis ik parallèle à ce, on obtient le deuxième centre g et le troisième k. Le tracé est le même de l'autre côté de cl; mais on peut, pour ce côté, commencer par le rayon ki', le point k étant connu.

Pour une anse de panier à 7 centres, on opérerait d'une manière semblable. Ainsi l'on prendrait af égal au premier rayon du tableau, on mènerait hg parallèle au premier rayon diviseur cd; on prendrait ensuite hg égal au deuxième rayon consigné au tableau, on mènerait par g une parallèle au deuxième rayon diviseur, et le troisième et le quatrième centre se détermineraient de la même manière que le deuxième et le troisième g et k dans

le cas précédent. On opérerait d'une manière semblable pour une anse de panier à 9 centres, et pour un nombre impair quelconque de centres.

ANSES A 3 CENTRES

MONTÉE	PREMIER rayon	DIFFÉRENCE des rayons successifs	DÉVELOPPEMENT de l'intrados	HAUTEUR réduite du débouché
0,380	0,333 077	0,327 486	1,402 158	0,302 536
0,390	0,349 737	0,300 526	1,416 212	0,310 381
0,400	0,363 397	0,273 205	1,430 265	0,318 165
0,410	0,377 058	0,245 885	1,444 318	0,325 390
0,420	0,390 718	0,218 564	1,458 371	0,333 554
0,430	0,404 378	0,191 244	1,472 424	0,341 157
0,440	0,418 038	0,163 923	1,486 477	0,348 701
0,450	0,431 699	0,136 603	1,500 531	0,356 184
0,460	0,445 359	0,109 282	1,514 584	0,363 608
0,470	0,459 019	0,081 962	1,528 637	0,370 971
0,480	0,472 679	0,054 641	1,542 690	0,378 274
0,490	0,486 340	0,027 321	1,556 743	0,385 517
0,500	0,500 000	0,000 000	1,570 796	0,392 699

ANSES A 5 CENTRES

MONTÉE	PREMIER rayon	DIFFÉRENCE des rayons successifs	DÉVELOPPEMENT de l'intrados	HAUTEUR réduite du débouché
0,350	0,244 693	0,228 355	1,342 641	0,273 767
0,360	0,261 713	0,213 130	1,357 851	0,282 001
0,370	0,278 734	0,197 907	1,373 061	0,290 191
0,380	0,295 754	0,182 683	1,388 272	0,298 338
0,390	0,312 775	0,167 459	1,403 482	0,306 442
0,400	0,329 795	0,152 236	1,418 692	0,314 501
0,410	0,346 816	0,137 012	1,433 903	0,322 518
0,420	0,363 836	0,121 789	1,449 113	0,330 490
0,430	0,380 857	0,106 565	1,464 324	0,333 419
0,440	0,397 877	0,091 341	1,479 534	0,346 304
0,450	0,415 898	0,076 898	1,494 744	0,354 146
0,460	0,431 918	0,060 894	1,509 955	0,361 944
0,470	0,448 939	0,045 671	1,525 165	0,369 698
0,480	0,465 959	0,030 447	1,504 376	0,377 409
0,490	0,482 980	0,015 224	1,555 586	0,385 076
0,500	0,500 000	0,000 000	1,570 796	0,392 699

ANSES A 7 CENTRES

MONTÉE	PREMIER rayon	DIFFÉRENCE des rayons successifs	DÉVELOPPEMENT de l'intrados	HAUTEUR réduite du débouché
0,330	0,182 256	0,181 310	1,318 059	0,255 621
0,340	0,201 888	0,170 644	1,323 513	0,264 004
0,350	0,220 520	0,159 979	1,338 969	0,272 348
0,360	0,239 152	0,149 314	1,354 425	0,280 651
0,370	0,257 784	0,148 949	1,369 880	0,288 914
0,380	0,276 416	0,127 983	1,385 335	0,297 137
0,390	0,295 048	0,117 318	1,400 790	0,305 321
0,400	0,313 680	0,106 653	1,416 245	0,313 464
0,410	0,332 312	0,095 987	1,431 700	0,321 567
0,420	0,350 944	0,085 322	1,447 155	0,329 631
0,430	0,369 576	0,074 657	1,462 610	0,337 654
0,440	0,388 208	0,063 992	1,478 066	0,345 638
0,450	0,406 840	0,053 326	1,493 521	0,353 581
0,460	0,425 472	0,042 661	1,508 976	0,361 485
0,470	0,444 104	0,031 996	1,524 431	0,369 348
0,480	0,462 736	0,021 331	1,539 886	0,377 172
0,490	0,481 368	0,010 665	1,555 341	0,384 955
0,500	0,500 000	0,000 000	1,570 796	0,392 699

ANSES A 9 CENTRES

MONTÉE	PREMIER rayon	DIFFÉRENCE des rayons successifs	DÉVELOPPEMENT de l'intrados	HAUTEUR réduite du débouché
0,320	0,147 507	0,148 144	1,290 800	0,246 432
0,330	0,167 090	0,139 914	1,306 355	0,254 886
0,340	0,186 673	0,131 684	1,321 911	0,263 303
0,350	0,206 256	0,123 453	1,337 466	0,271 680
0,360	0,225 839	0,115 223	1,353 021	0,280 019
0,370	0,245 422	0,106 993	1,368 577	0,288 319
0,380	0,265 005	0,098 763	1,384 133	0,296 580
0,390	0,284 588	0,090 532	1,399 687	0,304 803
0,400	0,304 171	0,082 302	1,415 243	0,312 987
0,410	0,323 754	0,074 072	1,430 798	0,321 133
0,420	0,343 336	0,065 842	1,446 352	0,329 239
0,430	0,362 919	0,057 612	1,461 909	0,337 307
0,440	0,382 502	0,049 381	1,477 464	0,345 336
0,450	0,402 085	0,041 151	1,493 020	0,353 327
0,460	0,421 668	0,032 921	1,508 575	0,361 279
0,470	0,441 251	0,024 691	1,524 130	0,369 192
0,480	0,460 834	0,016 460	1,539 686	0,377 066
0,490	0,480 417	0,008 230	1,555 241	0,384 902
0,500	0,500 000	0,000 000	1,570 796	0,392 696

Lerouge a, pour tracer les anses de panier, supposé que les divers rayons par les points de raccordement feraient des angles égaux entre eux, mais que les rayons croîtraient suivant une

progression arithmétique. C'est d'après cette hypothèse qu'il a calculé les résultats du tableau ci-contre, en prenant l'ouverture pour unité. Ce tableau contient, l'ouverture étant également prise pour unité, le développement de l'arc d'intrados, et la hauteur moyenne ou hauteur réduite du débouché ; ce développement, multiplié par l'ouverture exprimée en mètres, donne le développement de l'arc d'intrados en mètres, et cette hauteur réduite, multipliée par le carré de l'ouverture, exprimée en mètres, donne le débouché en mètres carrés.

Ajoutant la différence des rayons successifs au premier rayon, on a le deuxième ; cette différence, ajoutée au deuxième rayon, donne le troisième, et ainsi de suite. A l'aide de ces divers rayons que l'on peut transformer en mètres en les multipliant par l'ouverture exprimée en mètres, on fera le tracé comme il a été indiqué ci-avant.

Au pont de Neuilly, on a employé une anse de panier à 11 centres, tracée comme l'indique la figure 353.

On prend un point k, que l'on croit devoir être le premier centre, et l'on divise fk de manière que $kj = \frac{ji}{2} = \frac{ih}{3} = \frac{hg}{4} = \frac{gf}{5}$. Cela fait, on prend $fa = 3fk$; on divise fa en cinq parties égales aux points e, d, c, b ; on joint ek, dj, ci, bh et ag, et si le point k a été bien choisi, la courbe ayant pour centres successifs les points k, r, o, m, n, a, passera par le sommet q de la montée. On conçoit que ce n'est que par tâtonnement qu'on arrivera à la position convenable du point k. Supposons qu'on ait fait une première hypothèse, et que le k choisi ne convienne pas ; on aura la valeur convenable x, de fk, à l'aide de la formule :

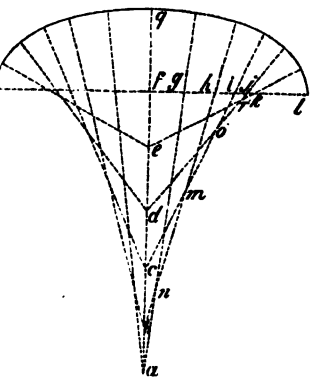


Fig. 353.

$$x = \frac{m(a-b)}{4m-s}.$$

$a = fl$, demi-ouverture ;
$b = fq$, montée ;
m, valeur qu'on a prise pour fk dans la première hypothèse ;
s, développement de la ligne brisée *anmork* qu'a donnée la première hypothèse.

Tracé des voûtes elliptiques. — Dans plusieurs ponts on a adopté l'ellipse pour directrice de l'intrados et même de l'extra-

dos. Le moyen le plus simple pour tracer en grand les épures des cintres et de coupe de pierre est le suivant :

AA′ étant l'ouverture du pont ou le grand axe de l'ellipse, et OB la montée de la voûte ou le demi-petit axe de l'ellipse, on marque sur une arête d'une règle mince CD (*fig.* 354) trois points E, F, G, tels qu'on ait EG = OA le demi-grand axe, et FG = OB le demi-petit axe, d'où EF = OA — OB la différence des demi-axes. Donnant alors à la règle différentes positions, mais de manière que le point E se trouve toujours sur la direction BO, et le point F sur AA′, le point G se trouvera sur l'ellipse ABA′ dans toutes ces positions. On conçoit qu'on pourra alors marquer sur l'épure autant de points qu'on voudra de la courbe, et par suite la tracer avec une exactitude suffisante pour la pratique.

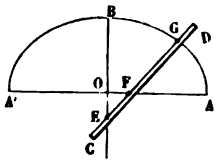


Fig. 354.

Pression d'une voûte sur son cintre (d'après Dejardin). — Les voûtes sont maçonnées sur des pâtés en terre ou en moellonnailles, ou sur des cintres en charpente. On doit ne commencer à soutenir la maçonnerie que vers le joint incliné à 30° sur l'horizontale. Si la voûte est établie suivant le profil d'équilibre, la pression normale sur le pâté ou sur le cintre est sensiblement constante pour les voûtes circulaires, et réciproque au rayon de courbure pour les autres voûtes. Rapportée à l'unité de longueur et de largeur de l'intrados, si l'on suppose le frottement nul, cette pression a pour expression, selon que la voûte est circulaire ou non :

$$P = d\left(e + \frac{e^2}{2r}\right), \qquad \text{ou} \qquad P = d\left(e + \frac{e^2}{2R}\right).$$

P, pression normale sur le cintre, par unité de surface d'intrados;
d, poids du mètre cube de maçonnerie ;
e, épaisseur de la voûte à la clef ;
r, rayon de l'intrados ;
R, rayon de courbure au sommet de l'intrados : la formule donne la pression sur le cintre en ce point.

A cause du frottement et de l'adhérence du mortier, on doit regarder les valeurs ci-dessus de P comme des limites supérieures.

Pâtés. — Les pâtés se construisent en moellonnailles posées à sec, recouvertes d'un enduit de mortier ou de plâtre ; quand il y a possibilité, on les établit en terre. On ne fait donc usage de pâtés que pour des voûtes d'une ouverture faible, et qui ne comportent point une grande correction de profil (voûtes de caves de petites dimensions, voûtes d'évidements ou de contre-

forts dans des maçonneries qui doivent être enterrées, etc.). On fait usage des pâtés pour des voûtes qui exigeraient un cintre en bois difficile à établir, et plus dispendieux qu'un pâté (voûtes d'arête et d'arc de cloître, en dôme, en pénétration ; voûtes rampantes, ou établies sur un plan circulaire, etc).

Le système de pâtés en terre peut être amélioré par l'interposition, entre le pâté et la voûte, de *couchis* en madriers, qui offrent une surface plus régulière et qui remédient à l'inégalité du tassement de la terre. La masse de terre doit être contenue, tant entre les culées qu'en dehors des deux têtes de la voûte ; si cette masse n'a point été taillée dans un déblai, elle doit être comprimée et massivée; elle résiste d'autant plus uniformément que la flèche de la voûte est moindre ; dans le cas d'un arc de cercle de 60°, on peut appliquer ce système à des voûtes de 10 à 12 mètres d'ouverture.

Cintres. — Les *cintres* sont des échafaudages sur lesquels on construit les arcs et les voûtes. Ils soutiennent la maçonnerie jusqu'à ce que la pose de la clef lui permette de se tenir seule.

Le côté droit de la figure 355 représente un cintre pour voûte en berceau.

e, entrait ;
p, poinçon ;
o, poteaux soutenant l'entrait et portés sur la semelle *s* ;
j, jambes de force ;
f, fiches ;
v, pièces courbes appelées *veaux* et recevant des cales ou des madriers ou des *couchis* sur lesquels porte la maçonnerie.

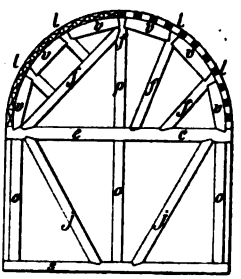


Fig. 355.

Les couchis sont en bois de sapin et le cintre en bois de chêne.

Dans la construction d'une suite d'arcades on se sert de cintres avec deux arbalétriers (côté gauche de la figure 355) sur lesquels on pose le pied des fiches et contre-fiches.

S'il s'agit d'une voûte surbaissée ou en anse de panier, on allonge la courbe en se servant de fiches et de contre-fiches, et l'on place sous ces dernières des jambes de force pour soulager l'entrait.

Pour les courbes, on se sert souvent de 2 ou 3 planches clouées ou chevillées ensemble et auxquelles on fait suivre à l'extérieur la courbure de l'intrados de la voûte à construire. Ces courbes ne s'emploient que pour voûtes légères et peu étendues ; il faut que les joints soient perpendiculaires à la surface de la voûte.

Les cintres pour les arcs et les voûtes légères se font en planches.

Pour les voûtes et arcs de quelque importance, on a soin de faire porter l'entrait directement sur des sacs de sable, ou sur des vérins, ou sur des cales, de manière à pouvoir faire un décintrement progressif, de telle sorte que la voûte puisse prendre en toute sécurité sa position d'équilibre.

On emploie aussi des cintres pour réparer les voûtes ou les démolir. La jambe de force *j* est remplacée souvent par deux étais.

Construction des voûtes. — Les petites voûtes en *pierre de taille* se construisent sur *pâtés* ou moellonnailles posées à sec ou en terre recouverte d'un enduit de mortier ou de plâtre ; entre le pâté et la voûte on met quelquefois des *couchis* en madriers. Surtout pour grandes ouvertures, on emploie les cintres en briques, en charpente, en fonte et en fer.

Pour exécuter une voûte d'arête, il faut 6 cintres en bois, 4 en demi-cercle et 2 diagonale (moitié d'ellipse). Comme les diagonales ont leur intersection au sommet de la voûte, un cintre d'un seul assemblage peut être posé d'un angle à l'autre de l'espace ; l'autre en diagonale se fera en 2 assemblages assujettis à leur jonction au premier.

Pour grandes voûtes, il faut des cintres intermédiaires, suivant la courbure des cintres formerets. Comme les cintres en diagonale reçoivent d'équerre, et de chaque côté sur leur face supérieure, les couchis de 2 lunettes, il faut que cette face (l'épaisseur) soit taillée selon l'angle que produit en diagonale l'intersection des couchis.

Si la voûte d'arête doit être élevée en briques, on établit, aux angles, des *sommiers* encastrés dans les piliers ou la muraille. Ces sommiers sont en pierre de taille ou en assises de brique ressortant du corps de la maçonnerie. Dans la voûte d'arête, la brique se pose, comme la pierre de taille, en assises dont les joints doivent être parallèles aux axes de la voûte.

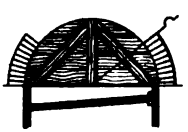


Fig. 356.

La figure 356 représente un arc en construction sur son cintre, avec une barre transversale qui permet de déterminer la direction des joints des voussoirs. Ce cintre s'appuie à ses extrémités sur des planches posées debout entre les pieds-droits et étrésillonnées par une barre transversale.

Cintres en briques. — Pour les voûtes en béton, lorsqu'elles ne doivent pas rester enterrées, on peut se servir, comme cintres, de voûtes en briques posées de champ, sur un ou plusieurs rangs d'épaisseur, selon la portée de la voûte. Ces premières voûtes se construisent à l'aide de cintres légers, et on les démolit quand le béton a acquis une dureté convenable.

Cintres en charpentes. — Les cintres en charpente sont usités dans les constructions importantes. La longueur du berceau doit être divisée en parties égales. Les espacements varient de 2 mètres à $1^m,20$. On doit préférer les fermes peu espacées.

Chaque couchis fonctionne comme une poutre reposant sur deux appuis et supportant sur chaque unité de longueur une charge connue; il doit avoir des dimensions telles que cette charge ne lui fasse point prendre une flèche appréciable.

Soient l la distance entre les axes de deux formes, et n le nombre total des files de couchis; s'il s'agit d'un plein cintre, la pression normale sur l'unité de longueur du berceau et de l'intrados étant connue, sur les 120° d'amplitude du cintre et sur la longueur l du berceau, la charge totale est, par suite,

$$\frac{\pi d l}{3}(2er + e^2),$$

et la charge Q uniformément répartie sur un des couchis devient, n étant le nombre des couchis compris dans l'amplitude de 120°,

$$Q = \frac{\pi d}{3}\frac{l}{n}(2er + e^2).$$

Cette valeur Q, qui décroît non seulement en raison directe de l'espacement des fermes, mais encore en raison inverse du nombre des couchis, sert à régler les dimensions cherchées au moyen des formules connues.

La résistance à la flexion d'une pièce est notablement accrue, lorsque ses deux extrémités sont fixées sur les supports. Après avoir réglé les dimensions des couchis, comme s'ils devaient être simplement posés sur les fermes, on obtient une grande stabilité en les clouant à leurs extrémités sur les fermes.

L'espacement des couchis dépend de l'espèce de maçonnerie dont la voûte est formée. Pour les voûtes de grandes dimensions, on ne laisse aucun vide entre les couchis, lorsqu'elles sont construites en petits matériaux, tels que moellons, briques, bétons, etc.; on les serre les uns contre les autres, de manière à former un plancher solide. Placés de cette manière, les couchis forment eux-mêmes une espèce de voûte qui permet d'alléger sensiblement les fermes du cintre. Souvent on donne aux couchis des dimensions assez fortes pour pouvoir les espacer de $0^m,10$ à $0^m,15$, et on les recouvre de planches minces jointives, que l'on fixe transversalement dessus, en leur faisant prendre la courbure de la voûte. Pour les voûtes de petites dimensions, comme celles de caves, les maçons établissent un plancher sur les arbalétriers du cintre, et ils posent les couchis au fur et à mesure que la construction de la voûte avance, en suivant la courbe d'intrados, que l'on trace habituellement à l'avance sur les pignons. Dans ce

cas on peut espacer les couchis de $0^m,04$ à $0^m,05$ entre eux. Ce vide peut être plus considérable toutes les fois que la voûte est appareillée par rangs de voussoirs réguliers; il suffit qu'au milieu de chaque rang réponde une file de couchis, de manière que les joints se trouvent au droit d'un espace vide et soient accessibles par dessous. Il faut réduire la largeur des couchis au double et au triple de leur épaisseur au plus. Ce qui motive une faible largeur, c'est la courbure de l'intrados, qui doit être complètement inappréciable dans l'étendue de la largeur d'une file de couchis.

Les fermes de cintres peuvent être combinées suivant trois principes différents : ou bien ces fermes ne sont soutenues qu'à leurs naissances par la maçonnerie, qui supporte à la fois et la charge verticale et la poussée horizontale de ces fermes, on dit alors que les cintres sont *retroussés;* ou bien il existe, d'une naissance à l'autre, un certain nombre de points fixes, dont l'effet est réellement de partager la ferme totale en plusieurs autres de moindre ouverture, on dit alors que les cintres sont *fixes;* enfin on emploie un système *mixte,* qui consiste à établir d'abord les fermes de manière qu'elles puissent être soutenues sur les deux naissances seulement, puis être étayées, pendant la construction, au moyen d'un certain nombre d'appuis fixes. Cette dernière disposition partage en deux l'effet du décintrement, en supprimant les étais, puis en n'enlevant le cintre proprement dit qu'après le premier effet du tassement.

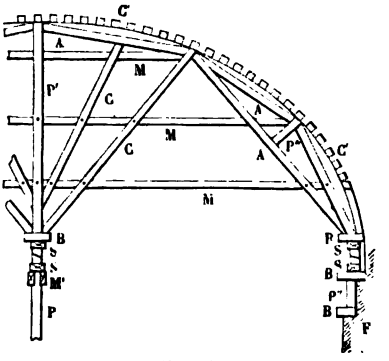


Fig. 357.

A, arbalétriers;
B, blochets;
C, contre-fiches;
P, pieux d'appui;
P', poteau principal;
P", potelets;
S, semelles et coins de décintrement;
M, moises formant entrait;
M', liernes reliant les pieux;
C', couchis, que l'on recouvre d'une chemise en planches de $0^m,015$ d'épaisseur;
F, massif de fondation.

Quelle que soit la composition d'un appareil de cintre, il est indispensable qu'il soit *contre-venté,* c'est-à-dire que les fermes soient reliées entre elles par des moises horizontales ou en écharpe.

La disposition du cintre doit : 1° *Empêcher le relèvement du*

sommet de la ferme, au moyen de grandes moises ou de brides partant de ce sommet et fixées vers les naissances, au moyen d'une surcharge provisoire sur le sommet pendant la construction des reins; 2° ramener les efforts à des résultantes horizontales qui se neutralisent en montant la voûte symétriquement des deux côtés à la fois.

Toutes les pièces d'une ferme de cintre doivent être disposées de manière que leur ensemble forme une triangulation dans laquelle les angles soient égaux autant que possible; leur ensemble forme un système très rigide qui reporte la pression sur les poteaux d'appui.

La figure 357 représente un cintre employé au pont-canal de l'Orb et à la construction des voûtes surbaissées au 1/10 du pont de Coursan. Au pont de l'Orb, avec un volume de bois minimum, et avec un seul appui intermédiaire, les abaissements aux sommets, au moment de la fermeture des voûtes, n'ont pas dépassé $0^m,01$ pour des ouvertures de 17 mètres et une flèche de 7 mètres.

Prix de revient des cintres. — Supposant que le prix brut du bois de sapin d'équarrissage marchand, rendu à pied-d'œuvre, soit de 66 francs le mètre cube, que le déchet du bois ne dépasse pas 16 0/0, l'évaluation du prix de revient des cintres de voûtes, par mètre superficiel de douelle, y compris toutes les fournitures de bois et fer, la façon, le coltinage, le décintrage et l'enlèvement, est :

1°	Pour les voûtes	de 2 mètres d'ouverture et au dessous.	2f,50
2°	—	de 2 à 5 mètres d'ouverture.....	5 00
3°	—	de 5 à 9 mètres —	10 00
4°	—	de 9 à 12 mètres —	15 00

Pose des cintres et tassement des voûtes au décintrement. — Lors de la pose des cintres, la plupart des constructeurs donnent aux fermes un certain surhaussement pour contre-balancer l'abaissement du sommet de la voûte.

Lorsqu'on décintre une voûte aussitôt son achèvement, il se produit une légère compression dans le mortier des joints, qui complète la solidité de la voûte et qui ne produit qu'un abaissement peu sensible.

Une voûte en plein cintre de 3 mètres d'ouverture, construite en maçonnerie de pierre de taille, a baissé à son sommet de $0^m,0015$ après le décintrement, alors que pour une voûte en arc de cercle, de 16 mètres de corde et $1^m,40$ de flèche, en même maçonnerie, l'abaissement au sommet a atteint le chiffre considérable de $0^m,12$; le nombre des joints était de quatorze pour la première voûte et de quarante pour la seconde, et leur épaisseur moyenne était de $0^m,015$, épaisseur de 5 à 7 millimètres trop forte. Le tassement du mortier de chaux et sable avait été de $0^m,023$ par mètre de hauteur de joints pour la voûte en plein

cintre, et de $0^m,063$ pour celle en arc de cercle. L'abaissemen au sommet des voûtes en arc de cercle est d'autant plus fort, pour une même ouverture, que le rapport de la flèche à la corde est plus petit.

Pour les mortiers de ciment romain le tassement est nul.

En cas de tassement au décintrement on peut corriger le profil d'intrados, en retaillant sur le tas tout le parement de douelle; une semblable opération n'est pas trop coûteuse, si cette partie de la taille n'a été préalablement qu'ébauchée; elle est sans inconvénient, si les joints ont été bien dressés.

Pose des voûtes. — L'exécution des voûtes en maçonnerie de pierre de taille implique diverses précautions, lorsqu'on a surhaussé le cintre : on ne donne pas aux joints une épaisseur uniforme, mais on les fait bâiller à l'intrados vers les reins et à l'extrados vers le sommet; on garnit ces joints d'étoupes sur les arêtes et on modifie successivement leur direction en raison des tassements déjà observés.

Dans les détails qui vont suivre on suppose que l'appareil des cintres est conforme à l'épure exacte de la voûte. Dans ces conditions, les cintres n'éprouvent que des compressions de bout peu importantes.

1° *Voûtes en pierre de taille.* — Quand les voussoirs sont taillés et disposés, on procède à leur pose. On commence par établir la division des voussoirs, conformément à l'épure, à chacune des extrémités du cintre, en marquant les points de division sur les couchis, soit par des petites encoches, soit en implantant des pointes; puis, lors de la pose de chaque rang de voussoirs, on trace, au moyen de règles, sur les couchis, la ligne d'arase du lit supérieur de ce rang, en donnant des points intermédiaires avec des *nivelettes*, ou en tendant un cordeau entre les points marqués aux extrémités du cintre.

Le principe de *non-continuité des joints montants* doit être rigoureusement observé.

Afin de diriger les plans de joints normalement à l'intrados, on se sert d'une ou de plusieurs fausses équerres levées sur l'épure de la voûte, et dont l'un des côtés est une certaine longueur de l'arc d'intrados, et l'autre côté une normale à cet arc. Si l'intrados est tracé à plusieurs centres, il faut changer ces fausses équerres chaque fois qu'on passe d'un arc à l'autre.

Pour la pose des voussoirs, on doit interposer dans chacun des joints un lit de mortier d'une épaisseur uniforme de 1 centimètre et demi pour les voûtes de grandes dimensions, et de au moins 8 millimètres pour les petites. En posant le mortier des joints, il ne faut pas en laisser sous les voussoirs quand on les pose sur le cintre; car l'arête supérieure de ces voussoirs s'appliquerait sur le cintre, et celle inférieure en serait séparée par

l'interposition de ce mortier, et il en résulterait un déversement qui nuirait à la solidité, tout en produisant à l'intrados de la voûte des balèvres. Le poseur doit affermir chaque voussoir au fur et à mesure de sa pose, au moyen d'un maillet en bois ; les vides qui peuvent exister entre les lits et les joints, par suite de défauts dans les voussoirs, sont remplis au moyen d'éclats de pierre enfoncés à bain de mortier ; les joints doivent être parfaitement fichés.

Les deux côtés de la voûte se montent en même temps, d'abord pour que leurs poussées se fassent équilibre sur le cintre et ne le détruisent pas, et ensuite pour que, les mortiers prenant la même consistance des deux côtés, le tassement soit égal. Il convient de ne commencer une nouvelle assise de voussoirs que quand celle inférieure est entièrement posée. Au pont Notre-Dame, on a posé sur cales tous les voussoirs en pierre de taille formant les deux têtes, puis on a fiché les joints en ciment de Vassy. On a procédé à la pose des voussoirs intermédiaires, qui sont de forts moellons piqués, dont deux assises forment une assise des têtes ; on a posé ces moellons sur cales et on les a fichés en ciment, de manière à avoir toujours au moins deux assises non fichées. Une fois le premier rouleau posé sur tout le cintre, on a complété l'épaisseur de la voûte entre les têtes, puis fait le remplissage des reins et établi les chapes en ciment et en bitume.

Quand il n'y a plus que les deux contre-clefs et la clef à poser sur le milieu de la voûte, on ferme cette dernière à la fois à ses deux extrémités, et même dans l'intervalle, si la longueur de la voûte l'exige. On pose en ces points les pierres formant les contre-clefs, on dresse sur place leurs lits apparents, on relève le vide compris entre ces lits, et on taille la clef à la mesure de ce vide. Cela fait, on enduit les joints des *contre-clefs* d'une couche de mortier ferme, mais onctueux, et on pose aussitôt la clef, en l'enfonçant avec un fort maillet en bois ou avec une dame du poids de 40 à 50 kilogr., jusqu'à ce que son parement de douelle s'appuie sur le cintre. Le mortier doit souffler de toutes parts ; alors on introduit dans les joints maigres des éclats de pierre dure, en les enfonçant avec la hachette. On continue de même la pose des autres clefs et contre-clefs, jusqu'à ce que la voûte soit fermée.

Quelques constructeurs emploient le moyen suivant, moins recommandable, pour fermer les voûtes : après avoir recouvert d'un lit de mortier les joints des contre-clefs, et lorsque la clef est taillée à la dimension voulue, on suspend cette dernière, au moyen d'une louve et d'une petite chèvre, à l'aplomb de l'espace qu'elle doit occuper ; puis on la laisse tomber à sa place. Comme on a d'abord enlevé les couchis au-dessous du rang de la clef,

chaque morceau en perdant toute sa puissance vive, peut descendre un peu au-dessous de l'intrados, et l'on doit même s'y prendre de manière qu'il en soit ainsi, afin qu'une petite retaille, à la clef seulement, puisse rendre unie toute la surface d'intrados.

La troisième méthode consiste à poser à sec sur les cintres les contre-clefs et la clef, en les espaçant de manière à réserver l'épaisseur des joints ; à remplir ensuite ces derniers en y coulant du mortier de ciment, qu'on a soin de ne pas gâcher trop clair. Ce mortier étant coulé dans les joints, on ébranle un peu chaque pierre, afin de le faire pénétrer dans tous les joints, où on l'enfonce en le fichant avec la truelle.

Les coulis en mortier de chaux ou en plâtre doivent être rejetés pour la fermeture des voûtes ; les derniers peuvent être employés pour les voûtes de petites dimensions en élévation ; mais pour les voûtes de caves, et en général toutes celles établies dans des endroits humides, on ne doit recourir à leur usage que quand il n'est pas possible de faire autrement.

2° *Voûtes en petits matériaux.* — Pour les voûtes en moellons, briques, etc., le mode d'exécution est à peu près le même que pour celles en pierre de taille. Les joints ne doivent pas se correspondre dans deux assises voisines, et quand la voûte est en moellons ou meulières piqués, ou en briques, il faut tracer les joints longitudinaux sur les couchis. L'ouvrier doit poser chaque voussoir en le frottant sur les couchis du cintre. Les moellons ou meulières doivent être un peu plus épais à la queue que vers le parement de douelle ; s'il en était autrement, on remplirait les vides résultant des moellons maigres de queue, au moyen d'éclats de pierre dure qu'on enfoncerait à bain de mortier.

3° *Voûtes en petits matériaux, hourdées en ciment.* — Les mortiers de ciment romain sont employés dans les ouvrages hydrauliques ; la grande force de cohésion de ces mortiers et leur adhérence intime avec les matériaux de construction ont conduit de Lagallisserie à construire en moellons et ciment de Vassy des voûtes n'éprouvant au décintrement aucun tassement sensible. La pression à la clef se reporte d'une manière plus uniforme sur la totalité de l'épaisseur ; la force de cohésion du mortier dans chaque joint tend à diminuer cette pression, et il devient possible de réduire la flèche et l'*épaisseur à la clef.*

Gariel et Garnier ont construit un arceau ayant 31 mètres de corde sur 3 mètres de flèche seulement, $1^m,30$ d'épaisseur à la clef, et $1^m,50$ de distance entre les deux têtes. Un an après son exécution, cet arceau fut soumis à différentes épreuves. Il résista au choc de deux pierres de taille, cubant $1^m,47$ et ayant un poids de 2.782 kilogr. qu'on laissa tomber d'une hauteur de $0^m,37$ sur la clef.

Gariel et Garnier furent chargés de la reconstruction du Pont-aux-Doubles, sur le petit bras de la Seine, à Paris. Ce pont se compose d'une seule arche semblable à l'arceau d'épreuve; la distance entre les deux têtes est de 16 mètres.

La prise du mortier de ciment étant presque instantanée, la voûte ne devait former qu'un seul voussoir après son achèvement ; il fallait éviter les ruptures qui ont lieu aux naissances et aux reins des voûtes pendant leur exécution, lesquelles résultent de l'affaissement produit dans les cintres au fur et à mesure qu'on les charge. On divisa la voûte en 4 voussoirs séparés entre eux par un intervalle de 1 mètre (*fig.* 358) ; il y avait un de ces

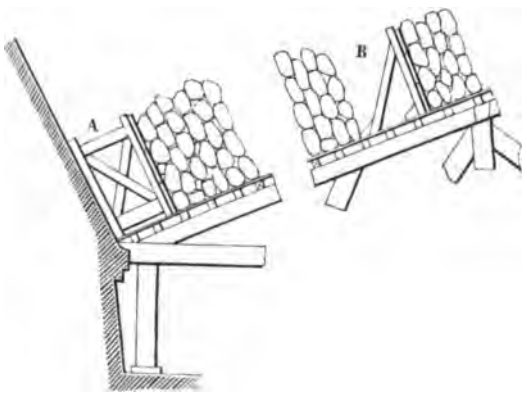


Fig. 358.

joints à chaque naissance, deux aux reins et un à la clef. Un encaissement en charpente, disposé comme l'indique la figure, était construit dans l'intervalle des joints A et B des naissances et des reins, afin de retenir la maçonnerie des voussoirs supérieurs et l'empêcher de glisser sur le cintre. Après avoir chargé la surface du cintre d'une grande quantité de meulières, on construisit les 4 voussoirs à la fois, sur une épaisseur de 1 mètre environ, en appuyant les maçonneries contre les encaissements. Cette première partie du travail terminée, on commença à démonter les encaissements par fermes de 2 mètres de largeur, et l'on remplit les parties de joints ainsi débarrassées en croisant le travail, c'est-à-dire en commençant par les vides des naissances à la tête d'aval et par ceux des reins à la tête d'amont ; mais, voyant que le glissement des maçonneries sur le cintre n'était pas à craindre, au lieu de continuer à opérer ainsi, on démonta entièrement les encaissements en charpente, et l'on remplit tous les joints en même temps. Cette opération se fit en 2 jours. La

voûte étant extradossée parallèlement sur $0^m,80$ à 1 mètre d'épaisseur et fermée entièrement, on compléta l'épaisseur de la voûte sur toute son étendue, en prenant toutes les précautions nécessaires pour assurer l'adhérence de la nouvelle maçonnerie avec celle du premier rouleau.

Lors du décintrement, il fut impossible d'apercevoir la plus légère fissure aux naissances et aux reins ni aucun abaissement à la clef.

Lorsqu'on fait usage du mortier de ciment romain, si l'exécution et la fermeture des voûtes se font par un temps chaud, il se produit, lorsque la température baisse, un léger fendillement, sans inconvénient, au droit des premiers joints des naissances.

Au *Petit-Pont*, qui a les mêmes dimensions que le *Pont-aux-Doubles*, dont l'ouverture est de $32^m,50$ en aval et 31 mètres en amont, pour construire la voûte, on a fait un premier rouleau sur tout le cintre avec des meulières piquées, en laissant un intervalle aux naissances et à la clef. Cette première assise étant posée, on l'a fermée aux naissances et à la clef. On a fait le complément de l'épaisseur de la voûte, en ne la fermant qu'en dernier lieu aux naissances et à la clef.

D'après Gariel, le prix de revient des ponts en ciment a été à peu près, à Paris, de 320 fr. le mètre carré, à compter d'une extrémité à l'autre des culées, sans y comprendre les fondations, mais en comptant la pierre de taille des têtes, tympans, corniches, parapets, etc., ce qui, pour un pont de chemin de fer à deux voies, soit d'environ $8^m,60$ de largeur entre les têtes, porterait la dépense par mètre courant de pont, de l'extrémité d'une culée à l'autre à 2.752 fr. (les fondations exceptées).

Les *travaux complémentaires* comprennent : 1° le ragréement, le remplissage des reins, la pose des tympans (auxquels on procède de la même manière que pour les murs) ; 2° s'il y a lieu, la construction d'une *chape*, enduit placé sur les voûtes exposées aux intempéries pour empêcher les eaux de les endommager. Les chapes se font en mortier hydraulique fortement comprimé et lissé pour éviter les gerçures, en ciment, en asphalte, etc. Ces travaux ne doivent être commencés qu'après que le tassement des voûtes est terminé complètement.

L'*appareil* des voûtes en pierre de taille doit être disposé de façon que les voussoirs se soutiennent mutuellement. Il faut éviter les angles aigus et rendre les faces des joints normales à la surface d'intrados. Dans les voûtes en berceau, les joints de lits sont dirigés suivant les génératrices de cette surface ; on dit alors que la voûte est bandée dans le sens de sa longueur. Les joints de tête des claveaux sont placés dans le sens des directrices de l'intrados.

Dans les voûtes sphériques on prend pour lignes de joints les

méridiens et les petits cercles horizontaux de la sphère. Les assises des voussoirs, considérées séparément, doivent être appareillées par carreaux et boutisses comme celles des murs. Quelques constructeurs forment les voûtes par anneaux concentriques.

Les voûtes en moellons s'établissent comme celles en pierre de taille.

Dans les *voûtes en briques ordinaires*, la forme parallélipipédique des éléments a pour conséquence des joints plus ouverts à l'extrados qu'à l'intrados. C'est pour cela qu'on garnit les joints à l'extrados avec des éclats d'ardoises ou de pierre mince, ou qu'on taille les briques pour que les joints ne bâillent pas trop. On fait souvent ces voûtes par rouleaux concentriques de briques (*fig.* 359) sur champ ou même à plat, ce qui rend moins sensible l'inégalité des joints; mais il faut employer un excellent mortier de ciment. Les joints ne doivent pas se correspondre dans deux assises voisines. Les voûtes en briques en anse de panier sont inférieures à celles en arc de cercle, et il se produit presque toujours une désunion vers les reins. On fait aussi des voûtes en briques creuses dans lesquelles les briques sont façonnées en forme de claveaux; on en fait encore en poteries, notamment pour planchers (voir *Planchers*).

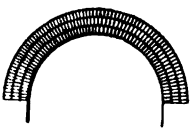


Fig. 359.

On doit commencer les voûtes en arc de cloître par la clef, et aller en avançant vers les naissances; sans cette précaution, on aurait beau laisser du jour à la clef, comme les quatre parties de la voûte se contrebutent mutuellement entre elles, la poussée due au gonflement du plâtre se transmettrait toujours sur les pieds-droits.

Décintrement des voûtes. — Beaucoup de constructeurs pensent que la maçonnerie d'une voûte doit être laissée sur cintres un mois ou 6 semaines, jusqu'à ce que le mortier soit sec. On enlève successivement les couchis depuis les naissances jusqu'à la clef, en ruinant les cales qui séparent ces couchis de la ferme. Quand cette manœuvre devient impraticable, on affaiblit peu à peu, au ciseau, les abouts des arbalétriers, de manière à obtenir un tassement lent et progressif. On a ruiné les points d'appui mêmes des fermes, en décintrant brusquement.

Tant sous le rapport de la stabilité que sous celui du tassement, il n'y a aucun désavantage à décintrer les voûtes immédiatement après la pose des clefs; sous le rapport des mouvements, qui s'accomplissent dans la voûte au moment du décintrement, il y a avantage à ce qu'alors le mortier soit encore dans un état qui lui permette de se mouler suivant de nouvelles figures. Il semble donc qu'*il faut maçonner les voûtes et les décintrer le plus prompte-*

ment qu'on pourra, afin d'éviter qu'il y ait quelques portions de mortier complètement prises au moment du décintrement.

Il faut se garder de laisser prendre aux voûtes une certaine vitesse lorsqu'elles s'abaissent au décintrement. Ces modifications d'équilibre dans les maçonneries, même leur écrasement et leur renversement, sont loin d'être instantanés. Il faut donc que le décintrement soit dirigé de telle manière que les cintres ne quittent la voûte que par progression insensible et en plusieurs phases, séparées par un intervalle ; il est bon que ce décintrement puisse être arrêté à un instant donné, de sorte que la voûte se retrouve sur ses cintres, comme avant le commencement de l'opération. On peut atteindre ce but en opérant comme ci-après :

Chaque ferme du cintre n'étant maintenue qu'à ses extrémités par des coins doubles, à petit angle (*fig.* 360), on lui imprime un mouvement modéré d'abaissement vertical ou d'écartement horizontal, en faisant glisser l'un sur l'autre les deux coins d'une même paire. Il suffit souvent de placer à chaque pied de ferme un ouvrier muni d'une cognée de charpentier ou d'un têtu de tailleur de pierre, qui frappe à petits coups sur le coin inférieur de la paire portant sur la semelle traînante. Dans les premiers instants, et quoique l'abaissement des fermes soit accusé par le mouvement des coins, l'effet du décintrement de la voûte n'est pas visible, parce que tout l'espace rendu libre est successivement occupé en vertu de la réaction d'élasticité des bois, dont la compression décroît graduellement; le cintre quitte la voûte comme un ressort qui se débande lentement. Lorsqu'une fois il s'est fait un jour continu entre l'intrados et la nappe des couchis, on peut enlever les coins et ensuite les couchis; mais il vaut mieux différer d'un jour ou deux pour attendre les effets du tassement.

Fig. 360. Décintrement à coins.

Le système de coins a été remplacé, pour des voûtes de ponts, par des sacs de forte toile remplis de sable bien tassé, et dont l'ouverture est cousue avec du fil très fort ou seulement ficelée. Ces sacs se placent aux mêmes endroits que les coins dans le mode précédent, et ils résistent bien à l'effort considérable de compression auquel ils sont soumis. Quand on veut décintrer, on pratique une ouverture à l'extrémité de chacun des sacs, lesquels se vident alors lentement, et l'on peut activer l'écoulement du sable en le remuant avec une tige de bois ou de fer. Ce moyen simple et économique fournit un décintrement facile et régulier.

On remplace souvent les sacs par des boîtes en bois ou en tôle (*fig.* 361) système Bouziat. Au pont Saint-Michel, les 16 fermes étaient espacées de $2^m,03$ d'axe en axe, et chacune reposait sur quatre

boîtes en tôle remplies de sable. Ces boîtes étaient des cylindres en tôle de $0^m,30$ de diamètre sur autant de hauteur, ouverts par le haut et fermés par le bas au moyen d'un disque en bois de $0^m,02$ d'épaisseur qui y entrait exactement. Le cintre reposait sur le sable par l'intermédiaire d'un piston en bois de $0^m,28$ de diamètre et de $0^m,25$ de hauteur, qui pénétrait dans le cylindre au fur et à mesure qu'il se vidait. Quatre bouchons fixés au bas de chaque cylindre permettaient de faire couler le sable, ce qu'un homme, placé à chaque retombée du cintre, facilitait au moyen d'une pointe en fil de fer. Le sable s'écoule d'autant mieux qu'il est plus sec. Le sable, en s'écoulant, s'amoncelle sur une petite plate-forme servant de base à la boîte; il y forme des petits cônes qui arrêtent l'écoulement dès qu'ils arrivent à la hauteur des trous.

Le prix d'une boîte a été de 12 fr., dont 4 fr. pour la tôle, 4 fr. pour le piston cylindrique, 3 fr. 25 pour deux plates-formes en bois de chêne, de $0^m,35$ de côté, l'une servant de tête au piston, et l'autre de base à la boîte; c'est sur les angles de cette base que se formaient les cônes de sable; et, enfin, 0 fr. 75 pour le sable, les bouchons en liège et le remplissage.

Un autre système de décintrement emploie à la fois les boîtes à sable et de fortes vis qui remplissent l'office des vérins (*fig.* 362 et 363). Une boîte à sable est portée sur une semelle de plate-

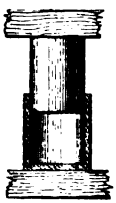


Fig. 361.— Boîte à sable pour décintrement.

Fig. 362.— Boîte à sable avec vis faisant office de vérin.

Fig. 363. — Plan de la fig. 362.

forme; le piston ou cylindre massif en bois porte une vis à tête polygonale qu'on élève ou qu'on abaisse dans le piston d'une quantité déterminée. Ses orifices sont fermés par un taquet.

Dupuit et Meyer ont fait usage, pour décintrer les 14 arches des Ponts-de-Cé, de vérins placés à côté des coins. Ayant tourné l'écrou de manière à soulever le cintre, on chasse avec facilité les coins, et, le cintre ne reposant plus que sur les vérins, il descend d'un mouvement qu'on peut maîtriser depuis le commencement jusqu'à la fin de l'opération. L'écrou est fileté à droite sur la moitié de sa longueur et à gauche sur l'autre moitié, et dans

chacune de ces moitiés pénètre une vis à filets carrés de $0^m,055$ de diamètre extérieur et de $0^m,045$ à l'intérieur des filets. En tournant l'écrou, les deux vis y pénètrent simultanément, ou elles en sortent; la course est de $0^m,08$ pour chaque vis. Les douze vérins employés ont coûté 903 francs. Les arches avaient 25 mètres d'ouverture.

Construction des voûtes sans cintre. — En employant des mortiers à prise très prompte (plâtre, ciments, etc.) et des matériaux bien gisants, il y a possibilité d'établir certaines voûtes sans cintres; avec des mortiers à prise ordinaire on peut aussi alléger considérablement les cintres. Pour cela, il suffit de construire la voûte par *zones obliques*.

Soit (*fig.* 364) le développement de la surface de la douelle de la voûte à construire, dont AB, CD sont les naissances, et AC l'une des têtes. Si la tête AC s'applique contre un mur pignon, après avoir tracé la directrice d'intrados de la voûte sur ce mur, on commence par poser, suivant cette courbe, un premier rouleau formé de voussoirs, *a*, *b*, *c*, ..., *b'*, *a'*, dont on scelle une des extrémités dans le mur. Cela fait, on pose, en partant des naissances, les voussoirs complétant les zones obliques, *dg*, *d'g'*, puis ceux complétant les zones *fh*, *f'h'*, et ainsi de suite, jusqu'à ce que la voûte soit entièrement terminée. On maintient chaque voussoir en place, au moment de sa pose, pendant les quelques minutes que dure la prise du mortier; alors son adhérence aux voussoirs avec lesquels il est en contact suffit pour le soutenir jusqu'à ce que la zone dont il fait partie se trouve fermée, soit par le rouleau *aa'* de tête, soit par la clef.

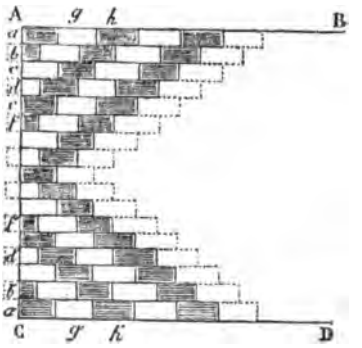


Fig. 364.

Si la tête AC, au lieu d'être adossée à un mur, devait rester apparente, on établirait un cintre léger pour poser le rouleau de tête *aa'*, puis on continuerait la voûte par zones obliques, comme dans le cas précédent.

Si la voûte avait une grande longueur, on pourrait établir sur cintres, de distance en distance, des chaînes ou rouleaux analogues à *aa'*, de chaque côté desquels on poserait en même temps les zones obliques, en opérant comme à partir des rouleaux de têtes. Cette dernière manière de procéder surtout exige, lorsque le parement d'intrados doit être soigné, que les voussoirs d'une

même assise aient bien la même épaisseur dans toute l'étendue de la voûte.

Avec les mortiers à prise prompte et énergique on pourrait exécuter en briques ou en moellons des voûtes assez grandes, en employant des cintres légers sous les rouleaux de têtes et sous ceux intermédiaires que l'on peut faire, et en les supprimant sous les zones obliques. On pourrait n'établir qu'une voûte de l'épaisseur d'une brique ou d'un moellon, puis compléter l'épaisseur de la voûte avec de la maçonnerie hourdée en mortier ordinaire.

Surface du profil vertical et poids d'une voûte. — Le poids d'une voûte étant égal à son volume multiplié par la densité de la maçonnerie, et son volume, à la surface de son profil vertical multipliée par sa longueur, on a dans un grand nombre de cas à déterminer la surface de ce profil.

La surface du profil vertical ABCD (*fig.* 365) d'une voûte à intrados et extrados circulaires s'obtient en retranchant de la surface EAC du secteur d'extrados la surface IBD du secteur d'intrados, plus deux fois la surface du triangle AEI, qui a pour base AE = R et pour la hauteur IH = IE sin α = (R — r) sin α, α étant l'angle AEI, c'est-à-dire la moitié de l'angle au centre correspondant à l'arc d'extrados AC.

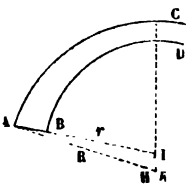


Fig. 365.

Quand les deux arcs d'intrados et d'extrados sont concentriques, le triangle AEI est nul, et la surface du profil de la voûte est la différence des deux secteurs ; ainsi l'on a :

$$S = R \times \frac{A}{2} - r \times \frac{a}{2}.$$

S, surface du profil ; R et r, rayons de l'extrados et de l'intrados ; A et a, longueurs des arcs d'extrados et d'intrados.

Désignant par e l'épaisseur R — r de la voûte, on a aussi :

$$S = e\,\frac{A + a}{2}.$$

Ainsi la surface du profil est égale à l'épaisseur de la voûte multipliée par la demi-somme des arcs d'extrados et d'intrados. Pour les voûtes en plein cintre, dont les deux arcs sont concentriques, les opérations précédentes reviennent à retrancher le demi-cercle d'intrados de celui d'extrados. Si l'arc d'extrados n'est pas concentrique à celui d'intrados, on retranche le demi-cercle d'intrados du secteur limité par l'arc d'extrados.

Pour les voûtes dont le profil est limité par des courbes, on calcule la surface du profil au moyen du procédé suivant :

On trace des parallèles uniformément espacées d'une quantité *e* (*fig.* 366), en menant l'une de ces parallèles par l'angle B, et en prenant l'intervalle *e* assez petit pour que les arcs de courbes interceptés se confondent sensiblement avec des lignes droites ; on ajoute les longueurs de toutes les parallèles comprises dans la partie BDCE, on retranche de la somme obtenue la moitié de la somme des deux ordonnées extrêmes CD, BE, et le résultat, multiplié par l'intervalle constant *e*, donne la surface de la portion BDCE, à laquelle ajoutant la surface de la partie triangulaire ABE, on aura la surface totale du profil ABDC. Si la courbe AE peut être considérée comme une droite, multipliant la moitié de BE par la perpendiculaire *e'* abaissée de A sur BE, le produit est la surface du triangle ABE ; s'il n'en était pas ainsi, on mènerait entre A et BE une série de parallèles comme entre BE et CD, et on évaluerait la surface ABE en opérant comme pour celle BDCE, mais en remarquant que l'ordonnée extrême en A est nulle.

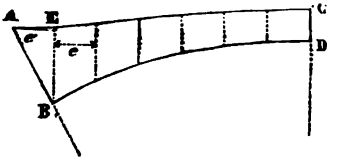


Fig. 366.

On peut, pour déterminer S, faire usage de la formule de Simpson, que nous donnons plus loin pour le mesurage des voûtes en arc de cloître et des voûtes d'arête.

Stabilité des voûtes. — On doit vérifier qu'aucun voussoir ne puisse glisser sur le voussoir inférieur et qu'en aucun point la force élastique ne soit supérieure à la limite de sécurité correspondant à la maçonnerie. Il faut que le tiers de la longueur de chaque plan d'appui de voussoir supporte une charge au plus égale à 1 fois 1/2 la résistance de la pierre.

La résultante doit faire avec la normale au plan de joint un angle plus petit que l'angle de frottement.

Le plein cintre ne peut jamais coïncider avec le tracé d'une courbe de pressions, mais il s'en rapproche d'autant plus que la charge sur les pieds-droits est plus grande.

L'arc de cercle surbaissé correspond à une courbe de répartition des charges qui se confond sensiblement avec une ligne droite.

L'ellipse surbaissée donne des résultats intermédiaires entre ceux des deux cas précédents.

L'arc brisé donne lieu, pour une même charge, à une poussée beaucoup plus faible, mais cette force agit avec un bras de levier plus grand par rapport à la naissance, ce qui peut compenser et au delà l'avantage dû à la diminution de la poussée.

L'adhérence des mortiers ajoute beaucoup à l'adhérence des voûtes.

Les conditions de stabilité des voûtes en arc de cloître se déterminent d'après les mêmes principes que celles en berceau.

Seulement, au lieu de considérer une portion de voûte dont la longueur est égale à l'unité, ce qui permet de ne calculer que des surfaces, on considère chaque pan de voûte dans toute son étendue, et l'on calcule le volume de chacune de ses assises de voussoirs, dont la longueur augmente à mesure qu'on se rapproche de la naissance.

Dans les voûtes en arc de cloître, la tendance au renversement extérieur domine ; pour la combattre, on les couronne par des lanternes ou des motifs d'amortissement à forte saillie qui servent en même temps de décoration.

Des voûtes d'arête sont dans des conditions inverses de stabilité. On doit y employer des courbes d'extrados d'autant plus prononcées, ou une épaisseur vers les reins et les naissances d'autant plus grande, que l'épaisseur du pied-droit est plus réduite.

Les voûtes d'arête sont souvent formées de pans légers reposant sur des arcs ou nervures en saillie ; dans ce cas on calcule les arcs d'après les poids provenant des deux demi-pans de voûte qu'ils ont à soutenir ; quant à la poussée agissant sur le pied-droit, elle doit être composée avec les poussées qui résultent de l'arc diagonal adjacent et de l'arc-doubleau.

Dimensions des voûtes. — Joints de rupture. — Lorsque les dimensions d'une voûte et de ses culées sont réduites au point de ne pouvoir se soutenir, au moment où l'équilibre va se rompre, en général la voûte s'ouvre (*fig.* 367) à l'intrados à la clef, à l'extrados en des points placés dans les *reins* de la voûte, et les pieds-droits tournent autour de l'arête extérieure de leur base.

Quelquefois, à la rupture, la voûte se fend à la clef et dans les reins, mais sans s'ouvrir, et les pieds-droits glissent sur leur base.

Il est un troisième cas, c'est celui où le voussoir inférieur, c'est-à-dire l'ensemble du pied-droit et de la partie de voûte inférieure au rein exerce, pour tomber en avant, un effort plus grand que celui produit par le voussoir supérieur pour le faire tourner en sens contraire. Alors la voûte s'ouvre comme dans le premier cas, mais à l'extrados à la clef, à l'intrados aux reins, et les pieds-droits tournent autour de l'arête intérieure de leur base (*fig.* 369).

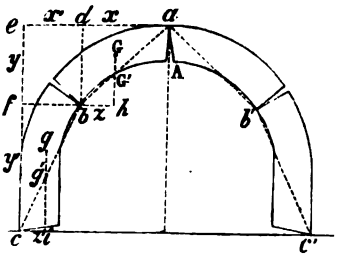


Fig. 367.

Une voûte peut être considérée comme composée de 4 voussoirs séparés par les joints où la rupture est possible, et qui doivent mutuellement se maintenir en équilibre.

1° Examinons d'abord le *premier cas*, celui où il y a affaissement de la voûte et renversement des pieds-droits (*fig.* 367). Au moment où l'équilibre se rompt, on peut supposer théoriquement que les voussoirs ne reposent plus entre eux et sur le sol que par des arêtes a, b, b' c et c' ; alors ab, bc, ab' et $b'c'$, sont entre eux dans le même état d'équilibre que des droites rigides ab, bc, ab' et $b'c'$, dont les poids sont ceux des voussoirs, et dont les centres de gravité sont placés aux points G', g', etc., situés sur les verticales passant par les centres de gravité G, g, etc., des voussoirs.

Il convient, pour abréger les calculs, de ne considérer qu'une tranche de voûte de 1 mètre de longueur; s'il y a équilibre sur 1 mètre, l'équilibre subsistera sur toute l'étendue de la voûte.

Représentons : ad par x, *de* par x', *ef* par y, *fc* par y', *bh* par z et *ci* par z'.
Soient : P, le poids du voussoir ab; et Q, celui du voussoir bc.

Le poids P, que l'on peut supposer appliqué en G' ou même en h, se décompose en deux forces verticales, l'une $P\frac{z}{x}$ appliquée en a, et l'autre $P\frac{x-z}{x}$ appliquée en b. Le poids Q, que l'on peut supposer appliqué en g' ou même en i, se décompose également en deux forces verticales, l'une $Q\frac{z'}{x'}$ appliquée en b, et l'autre $Q\frac{x'-z'}{x'}$ appliquée en c. Les voussoirs ab' et $b'c'$ fournissent les mêmes composantes, appliquées respectivement aux points a, b' et c'.

Ainsi, au point a agit une force verticale $2P\frac{z}{x}$, laquelle se décompose en deux forces égales, dirigées l'une suivant ab, et l'autre suivant ab'. Représentant par C chacune de ces composantes, on a :

$$C : 2P\frac{z}{x} = ab \quad \text{ou} \quad \sqrt{x^2+y^2} : 2y, \quad \text{d'où} \quad C = P\frac{z\sqrt{x^2+y^2}}{xy}.$$

La force C, agissant suivant ab, peut être supposée appliquée au point b, où elle se décompose en deux autres :

L'une verticale et égale à $P\frac{z}{x}$;

L'autre horizontale et égale à $P\frac{z\sqrt{x^2+y^2}}{xy} \times \frac{x}{\sqrt{x^2+y^2}} = P\frac{z}{y}$.

Considérant alors le voussoir bc, on voit qu'il est sollicité par la force horizontale $P\frac{z}{y}$ appliquée au point b, et par les forces verticales Q, $P\frac{x-z}{x}$ et $P\frac{z}{x}$, appliquées la première au point g et

les dernières au point b; par conséquent, pour que ce voussoir ait de la stabilité, on doit avoir :

$$Qz' + \left(P\frac{x-z}{x} + P\frac{z}{x}\right)x' - P\frac{z}{y}y' > 0,$$

ou, en simplifiant,

$$Qz' + Px' - P\frac{zy'}{y} > 0. \qquad (a)$$

Ajoutant $Pz - Pz$ au premier membre de cette inégalité, on a :

$$Qz' + P(x' + z) - \left(Pz + P\frac{zy'}{y}\right) > 0.$$

Qz' est le moment du voussoir bc, pris par rapport au point c, $P(x' + z)$ est le moment du voussoir ab, pris par rapport au même point; par conséquent la somme de ces deux expressions est égale au moment total MA de la demi-voûte, pris par rapport au point C.

$M = Q + P$ poids de la demi-voûte;
A, distance horizontale du centre de gravité de la demi-voûte au point C.

Le dernier terme du premier membre de l'inégalité précédente devient, en réduisant au même dénominateur,

$$Pz\frac{y + y'}{y} = PH\frac{z}{y}.$$

$H = y + y'$, hauteur totale de la voûte.

L'inégalité précédente devient donc en définitive :

$$MA - PH\frac{z}{y} \text{ ou } H\left(\frac{MA}{H} - P\frac{z}{y}\right) > 0.$$

Ainsi il y aura rupture quand le terme négatif sera plus grand que le terme positif, équilibre quand il lui sera égal, et l'on obtiendra une stabilité d'autant plus grande qu'il deviendra plus petit relativement à ce terme positif.

Le terme $\frac{MA}{H}$ étant constant, et celui $P\frac{z}{y}$ étant seul variable, il est évident que, si une voûte doit se rompre, ce sera au point pour lequel $P\frac{z}{y}$ est maximum ; ainsi, pour s'assurer qu'une voûte projetée résistera, on détermine d'abord la position du joint qui donne $P\frac{z}{y}$ maximum.

Dans cette recherche on n'a à considérer que le voussoir supé-

rieur, et les joints pour lesquels on doit calculer les valeurs correspondantes de P; y et z doivent être choisis voisins du joint qu'on suppose devoir être celui de rupture. Il convient, pour abréger les calculs, d'observer que, les valeurs de P étant proportionnelles aux surfaces correspondantes du profil de la voûte, et que les valeurs de z et de y données par ces surfaces étant les mêmes que celles des portions correspondantes de la voûte, on peut opérer sur ces surfaces pour déterminer les valeurs successives de y et de z, et que la position du joint de rupture sera déterminée par la valeur maximum du produit de $\frac{z}{y}$ par la surface correspondante.

Si l'on arrivait à une valeur de $P\frac{x}{y}$ trop grande, on augmenterait la largeur des pieds-droits, de manière à faire croître convenablement MA.

Ceci s'applique aux voûtes surbaissées comme à celles en plein cintre.

Dans tout ce qui précède nous avons supposé que la voûte n'avait à supporter que son propre poids; mais ordinairement elle est surmontée d'un massif de maçonnerie formant une surface horizontale au-dessous de la voûte et des pieds-droits; de plus, ce massif supporte ordinairement une surcharge accidentelle ou permanente.

Dans ces divers cas, les poids P, Q et M comprennent non seulement ceux des parties correspondantes de la voûte proprement dite, mais aussi ceux des massifs de maçonnerie et les portions de surcharge qui reposent sur ces parties de la voûte. On a égard à ces poids additionnels en déterminant les positions des centres de gravité.

Pour les ponts, l'épaisseur totale de la chape, du remplissage, de la couche de sable et du pavé ne peut guère être inférieure à $0^m,60$, et l'on peut supposer que les matériaux qui la composent ont la même densité que la maçonnerie. Le remplissage des reins se faisant en détritus est moindre que celle de la maçonnerie. La charge d'épreuve est de 400 à 500 kilogr. par mètre carré.

On détermine approximativement la position des centres de gravité des voussoirs par le procédé suivant :

Après avoir découpé sur du carton la face ABCD (*fig.* 368), on la suspend par un fil en un point quelconque A; on trace sur la surface le prolongement du fil ou la verticale AF passant par le point A, en suspendant de même la surface par un autre point E; la nouvelle verticale que détermine le fil vient rencontrer la première AF au point G, qui est le centre de gravité. Pour l'intersection des verticales, il convient de choisir les points de

suspension A et E de manière que ces verticales se rencontrent sous un angle différant très peu d'un droit.

S'il s'agissait de déterminer le centre de gravité de l'ensemble de deux voussoirs, ou de deux systèmes quelconques dont les centres de gravité g et g' sont connus, p et p' étant les surfaces des profils des voussoirs, ou mieux les poids des systèmes, il suffirait de diviser la droite gg' en raison inverse à p et p'.

Ainsi, G étant le centre de gravité cherché, et ayant $p = 500^k$, $p' = 300^k$, $P = p + p' = 800^k$, $gg' = 8^m,00$, et $gG = x$, on a :

$$(500 + 300) : 300 = 8 : x,$$

d'où :

$$x = 8 \times \frac{300}{500 + 300} = 3 \text{ mètres.}$$

2° Le *deuxième cas de rupture d'une voûte* a lieu lorsque, par l'effet de la force horizontale maximum $P\frac{z}{y}$ du voussoir agissant,

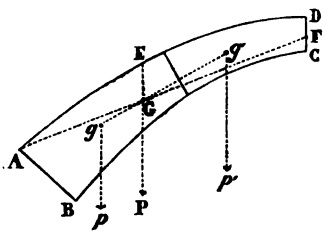


Fig. 368.

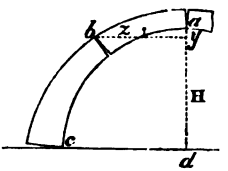


Fig. 369.

la culée ou pied-droit agissent sur sa base. Il est évident que ce glissement ne pourra s'effectuer lorsqu'on aura :

$$Mk > P\frac{z}{y}.$$

k, coefficient du frottement de la culée sur sa base ; on peut le faire égal à 0,76.

Les autres lettres ont les mêmes significations qu'au cas précédent.

3° Le *troisième cas de rupture d'une voûte* se présente quand, par la forme de la voûte ou par le mode de répartition de la charge, les pieds-droits tendent à tomber en avant ; alors la voûte s'ouvre à l'intérieur aux reins et à l'extérieur à la clef, (*fig.* 369). Ce cas est exceptionnel, il se présente dans des voûtes d'édifices, et a donné lieu aux clefs pendantes des églises gothiques, décorées de sculptures.

On établit les conditions d'équilibre comme dans le premier

cas, en prenant pour axes de rotation des voussoirs les points a, b, c, et, pour qu'il y ait stabilité, on trouve que l'on doit avoir :

$$H\left(P\frac{z}{y}-\frac{MA}{H}\right)>0, \text{ c'est-à-dire } P\frac{z}{y}>\frac{MA}{H}.$$

H = ad, hauteur de la voûte mesurée à l'intrados ;
M, poids de la demi-voûte ;
A, distance horizontale du centre de gravité de la demi-voûte au point de rotation c ;
P, poids du voussoir agissant ab ;
z, distance horizontale du centre de gravité du voussoir agissant au point de rotation b ;
y, distance verticale des points de rotation a et b.

Si l'on n'arrivait pas à $P\frac{z}{y}>\frac{MA}{H}$, on ajouterait un massif de maçonnerie au pied-droit, en dehors de l'arête c, ou bien l'on chargerait la clef. Dans ce troisième cas de rupture de voûte, ainsi que dans le deuxième, on a, comme au premier cas, égard à la maçonnerie et à la surcharge qui peuvent reposer sur la voûte.

Épaisseur des voûtes à la clef. — La méthode précédente est une méthode de tâtonnement, puisqu'on part d'une hypothèse sur l'épaisseur de la voûte. Afin de ne pas faire cette supposition au hasard, on a recours à la formule empirique de Perronnet :

$$e = 0{,}0347\,d + 0^{m}{,}325. \qquad (a)$$

e, épaisseur de la voûte à la clef ;
d, distance des pieds-droits.

Comme, pour des valeurs de d supérieures à 30 mètres, cette formule donne des épaisseurs trop fortes, on pourra la remplacer par les suivantes, de Dejardin, r étant le rayon de l'arc d'intrados en mètres :

Pour les voûtes en plein cintre,

$$e = 0{,}10\,r + 0^{m}{,}30\,; \qquad (a')$$

pour les voûtes en arc de cercle, de 60°, 50° et 40° d'amplitude,

$$(b) \qquad e = 0{,}05\,r + 0^{m}{,}30, \qquad e = 0{,}035\,r + 0^{m}{,}30 \qquad (c)$$

et

$$e = 0{,}02\,r + 0^{m}{,}30\,; \qquad (d)$$

pour les voûtes en anses de panier surbaissées au tiers, r étant le rayon de courbure au sommet de l'intrados,

$$e = 0{,}07\,r + 0^{m}{,}30\,; \qquad (f)$$

enfin, e étant la hauteur de la projection verticale constante

des joints dans les voûtes en ogive tiers-point, et r l'ouverture égale au rayon, on a :

$$e = 0{,}05r + 0^{m}{,}30.$$

Pour les voûtes hourdées en mortier de ciment, l'adhérence de celui-ci diminue la poussée horizontale, qui peut même se trouver annulée.

Pour les voûtes hourdées en mortier de ciment, on obtient des épaisseurs à la clef suffisantes, en multipliant les épaisseurs fournies par les formules précédentes par le coefficient 0,75, quand on tient compte de l'adhérence des mortiers, et par celui de 0,93, quand on néglige cette adhérence. Pour le Pont-aux-Doubles, l'angle d'amplitude étant de 45°,14 et $r = 40^{m}{,}30$, l'épaisseur à la clef devrait être comprise entre $1^{m}{,}71$ et $1^{m}{,}11$ d'après les formules de Dejardin, et être en moyenne $1^{m}{,}41$. La formule de Perronnet donne $1^{m}{,}40$ pour cette épaisseur. Multipliant $1^{m}{,}40$ par le coefficient 0,93, on obtient $1^{m}{,}30$, qui est l'épaisseur adoptée pour l'exécution. Comme, selon nous, cette épaisseur aurait pu être facilement réduite de $0^{m}{,}25$ ou $0^{m}{,}30$, cela justifierait le coefficient $0^{m}{,}75$.

Léveillé a adopté :

$$e = \frac{1 + 0{,}1d}{3}.$$

Cette formule, dans laquelle d désigne l'ouverture, est applicable aux voûtes en plein cintre, en anse de panier, en arc de cercle, aux voûtes portant des trains de chemins de fer, à celles chargées d'une grande épaisseur de terre.

Partant de l'épaisseur trouvée au moyen des formules précédentes, on détermine les joints de rupture comme il a été dit précédemment, et par suite la valeur de la poussée horizontale $P\frac{z}{y}$ de chaque voussoir agissant sur son voussoir résistant. Si cette poussée s'exerçait uniformément sur toute la hauteur e du joint à la clef, il serait facile de calculer quelle devrait être la valeur de e pour y résister ; mais le voussoir agissant ab (*fig.* 367), par sa tendance à tourner autour du point a, rend nulle la pression au point intérieur A, tandis qu'elle est maximum au point extérieur a. La voûte ne résistera qu'autant que cette pression maximum au point a ne dépassera pas la limite R que comporte la pierre de la voûte. La pression étant nulle en A, et R en a, supposant que chaque point de e résiste en raison inverse de sa distance au point a, il en résulte que la résistance moyenne est $\frac{R}{2}$, et la résistance totale $\frac{Re}{2}$. Cette résistance totale peut être représentée par la surface d'un triangle dont la base est R, et la

hauteur e; son point d'application est situé au centre de gravité du triangle, c'est-à-dire à une distance $\frac{e}{3}$ de la base ou du point a; et, comme le moment de cette résistance, pris par rapport au point de rotation b, doit être égal au moment du poids du voussoir agissant ab, pris par rapport à ce même point b, on doit donc avoir :

$$\frac{Re}{2}\left(y - \frac{e}{3}\right) = Pz.$$

Dans cette formule, les longueurs étant représentées en mètres, et P en kilogr., R exprime le nombre de kilogr. que peut supporter avec sécurité chaque mètre carré de la pierre qui compose la voûte.

La formule établie ainsi donnera la valeur de e, et, si cette valeur était différente de celle qu'on a supposée pour déterminer le joint de rupture, on le déterminerait de nouveau en adoptant cette seconde valeur de e, et la nouvelle valeur de Pz fournirait pour e une valeur plus approchée.

Lesguillier donne la formule :

$$e = 0{,}2\sqrt{D} + 0{,}1.$$

D'après Léonce Reynaud, on peut prendre, pour voûtes légères n'ayant à supporter que leur propre poids :

$$e = 0{,}10 + 0{,}01D;$$

pour voûtes portant plancher :

$$e = 0{,}20 + 0{,}02D;$$

pour voûtes plus résistantes :

$$e = 0{,}30 \text{ à } 0{,}40 + 0{,}03 \text{ à } 0{,}04D.$$

Épaisseur des pieds-droits ou culées. — Lorsque les pieds-droits font culée, c'est-à-dire doivent résister à la poussée horizontale de la voûte, il peut arriver qu'ils se renversent en tournant autour de leur arête extérieure. Ce cas ne peut avoir lieu qu'autant que l'inégalité (a) ne serait pas satisfaite, et alors on augmenterait l'épaisseur du pied-droit, et par suite z', de manière à y satisfaire. On opérerait d'une manière analogue pour le cas où le pied-droit pourrait tourner autour de son arête intérieure.

Il peut arriver aussi que, par suite d'une trop faible épaisseur, le pied-droit glisse sur sa base.

Il peut arriver également que la voûte glisse sur ses naissances; on vérifiera si cet effet est possible à l'aide de l'inégalité de 2°, dans laquelle M ne comprendra plus le poids du pied-droit, mais

seulement celui de la moitié de voûte qui le surmonte. Ce cas est celui qui exige la plus grande épaisseur de pied-droit. Comme l'épaisseur statique calculée pour le renversement est plus que suffisante pour résister au glissement, on ne peut s'en tenir à celle calculée d'après le glissement.

Ordinairement, on augmente l'épaisseur statique trouvée d'une quantité telle qu'en y supposant appliquée une pression égale aux 2/3 de la charge totale de la fondation, on n'ait à craindre ni le tassement du sol, ni l'écrasement des matériaux. Dans le *Mémorial du Génie militaire*, on multiplie l'épaisseur statique par 1,38, ou 1,40, ce qui revient, lorsque les parements sont verticaux, à rendre le moment de stabilité du pied-droit égal à 1,90 ou deux fois celui de la poussée qui tend à le renverser. Dejardin adopte 1,50 pour la valeur de ce *coefficient de stabilité*, ce qui revient à multiplier par 1,23 l'épaisseur statique du mur.

Dejardin donne le moyen graphique et les formules qui suivent pour déterminer l'épaisseur pratique des pieds droits.

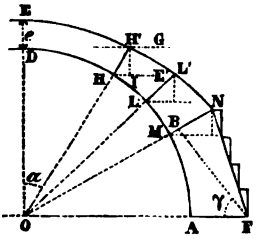


Fig. 370.

Par le point B (*fig.* 370), situé sur le joint extrême et au 1/5 de sa longueur, à partir de l'intrados, on mène la ligne BF faisant avec l'horizontale un angle tel que l'on ait :

$$\tan \gamma = \frac{P}{Q}.$$

P, poids de la demi-voûte MNDE sur l'unité de longueur;
Q, poussée horizontale minimum.

Le point F ainsi déterminé est l'extrémité de la base de la culée, au niveau des naissances, et on pourra le raccorder avec l'extrémité N de l'extrados, soit par une droite inclinée NF, soit par une série de retraites, pour limiter extérieurement la culée entre le joint extrême MN et celui de naissance AF.

Lorsque la voûte n'aura pas un intrados circulaire, il faudra vérifier si la partie AFMN satisfait la *condition de résistance à l'écrasement* et de *résistance au glissement*, c'est-à-dire si l'on a à la fois :

$$P + P' < bR \qquad \text{et} \qquad \frac{Q}{P + P'} < k.$$

P', poids de la portion AFMN;
b, longueur du joint AF de naissance;
R, coefficient de résistance pratique de la maçonnerie à l'écrasement;
k, coefficient de frottement de la voûte sur le joint AF.

Pour les *voûtes en plein cintre*, cette vérification est inutile, et pour ce cas, le joint MN étant incliné à 30° avec l'horizontale, on reconnaît facilement qu'en faisant tang $\gamma = 4/3$, on trouverait 1,386 pour le rayon de 1 mètre, et 1,339 pour celui de 20 mètres,

$$b = 0{,}241r + 0{,}496e,$$

ou sensiblement :

$$b = 0{,}25\,r + 0{,}50\,e = \frac{r + 2e}{4}.$$

r, rayon de l'intrados ;
e, épaisseur de la voûte à la clef.

L'épaisseur de la culée d'une voûte en plein cintre, au niveau de la naissance, est égale au 1/4 du rayon mené du centre de la voûte à l'extrémité de son extrados, extrémité qui se termine au joint incliné à 30 ; il y a exception pour les voûtes dont le rayon est inférieur à $1^m,50$, pour lesquelles on terminera postérieurement le profil de la culée par une perpendiculaire menée du point extrême N de l'extrados, et il y aura un petit excès de stabilité.

Épaisseurs des pieds-droits proprement dits, c'est-à-dire au-dessous des naissances. — On a pour l'équilibre mathématique :

$$QH = (P + P')(A + E) + dEh \times \frac{E}{2}.$$

Faisant intervenir le coefficient de stabilité 1,50, il vient :

$$\frac{3}{2}QH = (P + P')(A + E) + dEh \times \frac{E}{2};$$

d'où l'on tire, pour l'épaisseur pratique des pieds-droits,

$$E = -\frac{P + P'}{dh} + \sqrt{\left(\frac{P + P'}{dh}\right)^2 + \frac{3QH}{dh} - \frac{2(P + P')A}{dh}}.$$

E, épaisseur des pieds-droits ;
P, poids de la demi-voûte MNDE ;
P', poids de la culée AFMN, au-dessus de la naissance AF ;
h, hauteur des pieds-droits, comptée de la fondation aux naissances AF ;
d, poids du mètre cube de la maçonnerie des pieds-droits ;
Q, poussée horizontale ;
H, bras de levier de la poussée Q par rapport à l'arête de rotation du pied-droit ;
A, distance horizontale du centre de gravité de l'ensemble P + P' à l'arête intérieure du pied-droit.

En ne considérant qu'une unité de longueur de voûte, ce qui

simplifie les calculs, désignant par S la somme des surfaces des profils de la demi-voûte et de la culée sans le pied-droit, on a :

$$S = \frac{P + P'}{d},$$

et la formule précédente devient :

$$E = -\frac{S}{h} + \sqrt{\frac{S^2}{h^2} + \frac{3QH}{dh} - \frac{2SA}{h}}.$$

Lorsque les pieds-droits, au lieu d'avoir une épaisseur uniforme E, sont en talus sur leur face postérieure :

$b <$ E étant leur épaisseur au sommet ou la longueur du joint des naissances, et B $>$ E étant leur épaisseur en bas, on prendra :

$$B = -\frac{b}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}\sqrt{b^2 + 2E^2}.$$

Lorsque $b =$ B, cette formule donne B $=$ E, ce qui devait être, puisqu'alors on retombe dans le cas des pieds-droits d'épaisseur uniforme.

Le talus total de la face postérieure est :

$$B - b = -\frac{3}{2}b + \frac{\sqrt{3}}{2}\sqrt{b^2 + 2E^2},$$

et il devient nul, comme cela devait être, quand $b =$ E.

Un pied-droit doit pouvoir résister non seulement à la poussée horizontale qui tend à le renverser, mais aussi à la charge verticale appliquée à son sommet et à son propre poids ; ainsi l'on doit avoir au moins :

$$b = \frac{U}{R} \qquad \text{et} \qquad B = \frac{U}{R - dh}.$$

U, charge verticale appliquée au sommet du pied-droit, par unité de longueur.

Pour avoir l'épaisseur à donner au pied-droit, à une hauteur quelconque h' au-dessous de son sommet, pour résister à l'écrasement, il suffit de remplacer h par h' dans la valeur précédente de B.

Léveillé a donné les formules suivantes pour calculer l'épaisseur des pieds-droits ou culées :

Arc de cercle, $E = (0{,}33 + 0{,}212d)\sqrt{\frac{h}{H} \times \frac{d}{f + e}}$;

Plein-cintre, $E = (0,60 + 0,162d)\sqrt{\frac{h + 0,25d}{H} \times \frac{0,865d}{0,25d + e}}$;

Anse de panier, $E = (0,43 + 0,154d)\sqrt{\frac{h + 0,54b}{H} \times \frac{0,84d}{0,465b + e}}$.

E, épaisseur des culées;
d, ouverture de la voûte;
h, hauteur des culées ou distance verticale entre les naissances et le dessus des fondations;
e, épaisseur de la voûte à la clef;
f, flèche;
b, pour les voûtes en anse de panier, l'intrados est une ellipse ayant $d = 2a$ pour grand axe, et $b = f$ pour demi-petit axe;
H, distance verticale entre le dessus de la chaussée et le dessus des fondations. On a $H = h + f + e + 0^m,60$, le terme $0^m,60$ représentant la surcharge et le pavage qui, d'ordinaire, recouvrent la voûte, et dont le poids, après tassement, peut être considéré comme égal à celui de la maçonnerie.

Le numérateur des fractions ayant H pour dénominateur représente la hauteur du point où le joint de rupture rencontre l'intrados au-dessus des fondations. Dans les voûtes en arc de cercle, le joint de rupture étant en général au-dessous des naissances, on l'a supposé aux naissances. Dans les voûtes en plein cintre, extradossées horizontalement, le joint de rupture faisant un angle de 60° avec la verticale, on doit prendre $h + 0,25d$ pour le numérateur de H ; en ce point, le rapport de la flèche à la corde est de 0,288, valeur que le rapport de la flèche à la corde atteint rarement dans les voûtes en arc de cercle.

Pour les voûtes en anse de panier, le joint de rupture, normal à l'intrados, fait avec la verticale un angle de 45°; et, si l'on suppose que l'intrados est une ellipse, il est rencontré par le joint de rupture à une hauteur $0,54b$ au-dessus des naissances; de sorte que le numérateur de H est $h + 0,54b$.

La formule simplifiée suivante a été donnée aussi :

$$E = \sqrt{2PQ}$$

E = épaisseur des pieds-droits;
P = coefficient de stabilité, variant de 1,2 à 2 suivant la solidité nécessaire;
Q = poussée horizontale à la clef.

Lesguiller a donné la formule suivante pour les pieds-droits :

$$E = \sqrt{d}\left[0,6 + k\left(\frac{d}{h} - 1\right) + 0,04H\right].$$

$k = 0$ pour le plein centre;
$k = 0,05$ pour l'anse du panier;
$k = 0,01$ pour l'arc de cercle.

De même que pour la clef, l'épaisseur des culées n'a pas besoin d'être augmentée pour la limite des hauteurs ordinaires de grands remblais, et même les culées tendent plutôt à se verser à l'intérieur de la voûte que vers les terres, quand elles ont une très grande hauteur ; c'est ce qui motive les voûtes superposées qu'on établit dans les culées pour entretoiser les murs, suppléer à leur défaut d'épaisseur et les empêcher de boucler.

Décoration des voûtes. — Les voûtes en berceau sont souvent décorées de compartiments ou *caissons* (*fig.* 371).

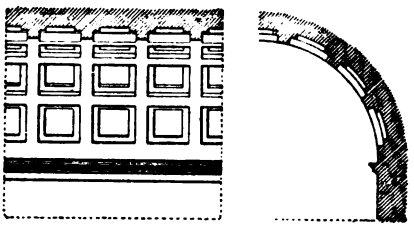


Fig. 371. — Caissons décorant une voûte.

Pour les voûtes d'arête on préfère accentuer les arêtes par des nervures saillantes (*fig.* 372 à 377).

Fig. 372.
Deux tores séparés par un bandeau.

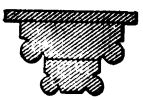


Fig. 373.

Fig. 374.
Deux tores séparés par un filet.

Pour les voûtes en arc de cloître, dont les arêtes sont rentrantes, on a recours à des compartiments généralement rectangulaires dans la majeure partie de la voûte, triangulaires ou trapézoïdaux le long des arêtes.

Fig. 375.
Trèfle.

Fig. 376.
Nervure à trois tores.

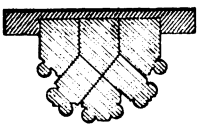


Fig. 377.
Plan d'un pilier formé de nervures.

Les voûtes sphériques sont décorées soit par des nervures ou arcs-doubleaux convergeant au sommet de la voûte et laissant

entre eux des fuseaux avec compartiments peints ou sculptés, soit par des caissons ornés.

Les culs-de-four sur pendentifs se décorent aussi de caissons ; souvent ces caissons sont séparés par une corniche.

Voûtes légères en briques et en poterie. — La *brique creuse Pothin* est excellente pour arcs et voûtes qu'elle allège considérablement. On fait des voûtes gothiques avec nervures en poteries. Les arcs sont des terres cuites profilées affectant les formes voulues, tant pour les arcs-doubleaux (*fig.* 378) que pour les nervures (*fig.* 379) et les formerets (*fig.* 380). Les remplissages sont faits en briques creuses très légères de $0^m,045$ d'épaisseur. On les monte sans cintres : il suffit d'une *cerce*, sorte de patron en bois mince, découpé suivant la courbure prévue et au long de laquelle on superpose les poteries, en les tenant à la main. On les scelle l'une à l'autre, au plâtre ou au ciment.

On fait encore des voûtes en tuiles plates.

Pour atténuer les effets du gonflement du plâtre, le capitaine du génie d'Olivier a imaginé une disposition de briques à crochets convenable pour voûtes légères (*fig.* 381).

Fig. 378 à 381.

La poussée, par mètre courant, d'une voûte en briques à crochets, ayant $4^m,89$ d'ouverture, $0^m,47$ de flèche et $0^m,08$ d'épaisseur, est de 589 kilogr., soit 690 ou 345 kilogrammes pour chaque pied-droit. La voûte qui a fourni ces résultats était extradossée parallèlement, c'est-à-dire qu'elle n'était chargée en aucun point, ce qui a lieu très souvent; mais, la garniture des reins diminuant la poussée, et la charge sur la clef l'augmentant, on estime que ces deux efforts se compensent.

La moitié de la voûte dont il s'agit pesant environ 310 kilogr. on voit que, pour une voûte surbaissée au 1/10, la poussée a été égale au poids augmenté de 1/10.

Les mortiers de ciment romain n'éprouvant pas de gonflement, il convient de les substituer au plâtre pour la construction des voûtes légères.

Lagarde, en combinant les résultats de d'Olivier avec ceux de Rondelet, a établi le tableau suivant, qui donne, pour les voûtes minces, les épaisseurs des pieds-droits.

Dans ce tableau, la poussée est donnée par mètre courant sur

chaque pied-droit ; les pieds-droits sont en maçonnerie de moellons, de 2.200 kilogr. par mètre cube ; ces pieds-droits sont supposés ne pas s'élever au-dessus de la voûte et être d'une hauteur infinie. Dans le cas où la hauteur des pieds-droits ne serait que de 5 à 6 mètres, on pourrait diminuer de 1/10 les épaisseurs du tableau.

OUVERTURE des voûtes	PLEIN CINTRE		SURBAISSÉES AU 1/3		SURBAISSÉES AU 1/6		SURBAISSÉES AU 1/10	
	Poussée	Épaisseur des pieds-dr.	Poussée	Épaisseur des pieds-dr.	Poussée	Épaisseur des pieds-dr.	Poussée	Épaisseur des pieds-dr.
	VOUTES DE 0m,08 D'ÉPAISSEUR							
m.	k.	m.	k.	m.	k.	m.	k.	m.
2	148	0,26	206	0,31	270	0,35	282	0,36
3	222	0,32	309	0,37	405	0,43	423	0,44
4	296	0,37	412	0,43	540	0,51	564	0,51
5	370	0,41	515	0,48	675	0,56	706	0,57
6	444	0,45	618	0,53	809	0,61	847	0,63
7	518	0,48	721	0,58	944	0,66	988	0,67
8	592	0,51	824	0,62	1 079	0,69	1 129	0,71
9	666	0,55	927	0,65	1 214	0,74	1 270	0,76
10	740	0,58	1 030	0,68	1 349	0,78	1 411	0,80
11	814	0,61	1 133	0,71	1 484	0,83	1 552	0,85
12	888	0,64	1 236	0,75	1 619	0,86	1 693	0,89
13	962	0,66	1 339	0,78	1 754	0,90	1 834	0,92
14	1 036	0,68	1 442	0,81	1 88[illegible]	0,93	1 975	0,94
15	1 110	0,70	1 545	0,84	2 024	0,96	2 117	0,97
16	1 184	0,72	1 648	0,87	2 158	0,98	2 258	1,00
	VOUTES DE 0m,12 D'ÉPAISSEUR							
2	222	0,32	309	0,37	405	0,43	423	0,44
3	333	0,38	463	0,46	607	0,53	635	0,55
4	444	0,45	618	0,53	810	0,61	846	0,63
5	555	0,51	772	0,59	1 012	0,67	1 059	0,69
6	666	0,55	927	0,65	1 213	0,74	1 270	0,76
7	777	0,59	1 081	0,70	1 416	0,80	1 482	0,83
8	888	0,64	1 236	0,75	1 618	0,86	1 694	0,89
9	999	0,67	1 390	0,80	1 821	0,91	1 905	0,93
10	1 110	0,70	1 545	0,84	2 023	0,96	2 117	0,97
11	1 221	0,75	1 700	0,89	2 226	0,99	2 328	1,03
12	1 332	0,78	1 854	0,92	2 428	1,05	2 540	1,08
13	1 443	0,81	2 008	0,95	2 631	1,09	2 751	1,12
14	1 554	0,84	2 163	0,98	2 833	1,13	2 963	1,16
15	1 665	0,87	2 317	1,02	3 036	1,18	3 176	1,20
16	1 776	0,91	2 472	1,05	3 237	1,22	3 387	1,25

Lorsqu'on a besoin d'une grande légèreté, et que la voûte ne doit être soumise à aucune charge autre que celle due à son

propre poids, on peut substituer aux briques pleines des briques ou des poteries creuses.

La grande adhérence du mortier de ciment permet d'exécuter des voûtes minces en brique posées à plat sur 2 ou 3 rangs d'épaisseur, lesquelles, sans trop fatiguer les pieds-droits, remplacent avec avantage les planchers en charpente, et même les toitures, en les recouvrant d'une chape en ciment de $0^m,03$ d'épaisseur.

Les réservoirs supérieurs de Passy sont recouverts d'une série de voûtes d'arête plate, occupant chacune un espace de 4 mètres de côté, et reposant sur des piliers carrés en briques et ciment de $0^m,32$ de côté et de 4 mètre de hauteur. Ces voûtes, qui n'ont que $0^m,20$ de flèche et $0^m,08$ d'épaisseur, y compris une chape mince en ciment, sont composées de deux rangs de briques minces posées à plat. La chape est recouverte de mortier de ciment très maigre.

Les réservoirs d'eau de Gentilly, Charonne, Belleville et Ménilmontant sont recouverts par des voûtes légères formées de deux rangs de briquettes de Montereau de $0^m,027$ d'épaisseur posées avec du mortier de ciment de Gariel. Ces voûtes ont de $0^m,08$ à $0^m,09$ d'épaisseur, y compris une chape de $0^m,02$, en même mortier, qui les recouvre à l'extrados. Leur ouverture varie de 4 à 6 mètres, et leur flèche, de $0^m,35$ à $0^m,60$. Elles forment des berceaux d'arête reposant sur des piliers carrés de $0^m,33$ à $0^m,45$ de côté. Leurs reins sont remplis de maçonnerie de meulière et ciment sur les 2/3 de leur hauteur, et le tout est extradossé suivant la pente d'écoulement des eaux, au moyen d'un mortier maigre pilonné et lissé à la surface, et composé de 1 partie de chaux hydraulique pour 10 de sable de rivière. Une couche de terre végétale de $0^m,30$ à $0^m,40$ d'épaisseur, ensemencée de gazon, recouvre des réservoirs, et maintient l'eau qu'ils renferment à une température basse constante.

On a fait dans le vieux lazaret de Marseille une voûte en arc de cercle de 1 mètre de longueur entre les têtes, de 5 mètres de corde, $0^m,50$ de flèche, et $0^m,07$ d'épaisseur uniforme, et formée de deux rangs de briques de $0^m,03$ d'épaisseur, posées à plat avec mortier de ciment de Vassy. Cette voûte, qui avait pour point d'appui deux énormes piliers, a supporté, sans mouvement visible, 45.000 kilogr., obtenu avec des rails et des coussinets ; elle ne s'est rompue que sous une charge de 55.000 kilogr., soit 11.000 kilogr. par mètre carré de surface horizontale d'extrados. Nul doute que la charge de rupture eût encore été plus considérable, si la forte poussée sur les points d'appui n'avait fait reculer de $0^m,007$ dans l'intérieur d'un pilier l'une des pierres formant sommier.

Voûtes minces pour planchers incombustibles. — La condition d'incombustibilité conduit à faire l'application de voûtes

minces en briques et ciment pour former les planchers et les couvertures des manufactures, docks, halles, magasins, ateliers.

On rend incombustibles les planchers en les composant de voûtes minces en briques et ciment reposant sur des poutres en fer, en tôle ou en fonte, supportées par des piliers en briques ou par des colonnes en fonte. Ces voûtes ont ordinairement de $2^m,75$ à 3 mètres, et jusqu'à $3^m,50$ de portée ; elles sont en arc de cercle avec une flèche de 1/10 pour les bâtiments, et de 1/8 pour les entrepôts de marchandises lourdes. Ces proportions varient, du reste, selon la nature et la grandeur des charges à supporter, et la destination des constructions. Il est important d'élever des chaînes dans les murs aux points de grande fatigue, et de disposer dans les voûtes des tirants en fer allant d'un mur à l'autre pour s'opposer à la poussée ; il convient même de faire passer un tirant par les extrémités des poutres reposant sur les murs, afin de relier entre elles toutes les parties de la maçonnerie. La section des tirants a ordinairement de $0^m,015$ à $0^m,020$ de côté pour les planchers de manufactures, et de $0^m,030$ à $0^m,035$ pour ceux d'entrepôts.

On donne, à partir de chaque naissance et jusqu'au tiers du développement de chaque demi-voûte, une épaisseur de $0^m,22$, et l'on réduit cette épaisseur à $0^m,11$ pour le reste. On pose les briques de champ, en garnissant parfaitement les joints avec du mortier de ciment ; on fait le remplissage des reins avec du béton maigre, que l'on recouvre ensuite d'une aire en plâtre ou en ciment, sur laquelle on pose les dalles, les carreaux ou les planches devant former le plancher (voir, plus loin, *Planchers*).

Poussée des voûtes, *d'après Rondelet.* — Représentant l'épaisseur des pieds-droits d'une voûte en plein cintre par 1, l'épaisseur pour une même ouverture sera :

Voûte ogivale	0,70
Voûte en plein cintre	1,00
Voûte surbaissée au 1/3	1,18
— — au 1/6	1,35
— — au 1/10	1,39
Plate-bande	1,42

Représentant la poussée de la voûte en plein cintre par l'unité, la poussée relative des autres voûtes sera :

Voûte ogivale	0,49
Voûte en plein cintre	1,00
Voûte surbaissée au 1/3	1,39
— — au 1/6	1,82
— — au 1/10	1,91
Plate-bande	1,96

Méthode graphique de Méry pour calculer la stabilité des voûtes. — Lorsqu'une voûte est en équilibre, de manière que, sur chaque joint, la pression se répartisse entre les différents points, l'ensemble des pressions partielles donne une résultante unique appliquée en un point du joint ; ainsi, pour le joint *ab* (*fig.* 382), cette résultante *p* sera appliquée au point *g*, et la voûte devra être tenue en équilibre par cette pression *p* et par la poussée horizontale P qui agit au sommet de la voûte. Sur chacun des autres joints *a'b'*, *a''b''*, etc., il existe des points *g'*, *g''*, etc., analogues à *g*. Tous ces points déterminent une courbe, que Méry appelle *courbe des pressions*.

Si cette courbe passe au sommet C de la voûte, au point *b* de l'intrados et au point extérieur A, cela indique que la voûte tend à s'ouvrir à l'intrados au joint C, à l'extrados au joint *ab*, et que le pied-droit tend à tourner autour de l'arête extérieure A.

La courbe des pressions n'atteignant pas les points C, *b* et A, mais s'en rapprochant, elle montre que ces points sont les plus faibles de la voûte.

La pression s'exerçant suivant la tangente à la courbe des pressions, cette courbe, par son inclinaison sur les divers joints, fait connaître les joints où le glissement est à craindre. α étant l'angle que fait la direction de la pression avec le joint du voussoir, l'effort qui agit suivant la direction du joint pour produire le glissement est $p \cos \alpha$, l'effort normal au joint est $p \sin \alpha$, et 0,76 étant le coefficient de frottement ordinairement adopté, on doit avoir, pour qu'il y ait stabilité, $p \cos \alpha < p \sin \alpha \times 0{,}76$, ou $\cos \alpha < \sin \alpha \times 0{,}76$.

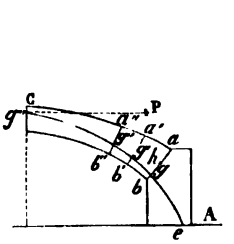


Fig. 382.

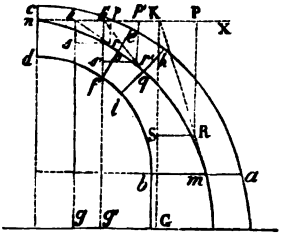


Fig. 383.

Tracé de la courbe des pressions. — Prenons (*fig.* 383), sur le plan des naissances, le point *m* paraissant, par ses distances aux points *b* et *a*, devoir appartenir à la courbe des pressions (les parties *bm* et *am* doivent chacune pouvoir supporter sans s'écraser les 2/3 de la charge du joint *ab*) ; prenons également sur le joint vertical *cd* le point *n*, paraissant, par sa distance au point *c*, appartenir à la courbe des pressions, et proposons-nous de tracer

cette courbe passant par *m* et *n*, c'est-à-dire de trouver les points en lesquels elle rencontre les joints *ef*, *hi*, etc.

On calcule le poids du voussoir *cdba*, et l'on détermine la position de son centre de gravité ; soit KG la verticale passant par ce centre de gravité, prolongeons cette verticale jusqu'à l'horizontale *n*X, joignons K*m*, prenons KS proportionnel au poids trouvé, et terminant le parallélogramme KSRP, KP est proportionnel à la poussée horizontale, et la diagonale KR à la pression totale *p* sur le joint *ab*. Cela fait, soit *kg* la verticale passant par le centre de gravité du voussoir *cdfe* ; prenons *ks* proportionnel au poids de ce voussoir, et *kp* égal à la poussée horizontale KP ; construisons le parallélogramme *krsp* ; la diagonale *kr* représente l'intensité et la direction de la pression sur le joint *ef*, et le point *o*, où elle rencontre ce joint, est un des points de la courbe des pressions. Opérant sur le voussoir *cdih* comme sur *cdfe*, on détermine le point *q* où la courbe rencontre le joint *hi*, et par la même marche on déterminerait les autres points de cette courbe.

Supposant que la voûte est en matériaux assez résistants pour que la pression puisse s'exercer sur les arêtes des voussoirs sans les écraser, il y aura équilibre tant que la courbe des pressions ne dépassera en aucun point la limite des voussoirs ; aussitôt cette limite dépassée, l'équilibre sera rompu, si la voûte n'est pas consolidée par des armatures ou des mortiers d'une résistance supérieure à l'effort qui tend à rompre l'équilibre. Avec les matériaux ordinaires, les distances de la courbe aux extrémités de chaque joint doivent être telles que chacune d'elles soit capable de supporter une charge uniformément répartie égale aux 2/3 de la charge totale qui repose sur le joint. Lorsque deux voûtes opposées s'appuient sur un même pied-droit, on peut s'en tenir à l'épaisseur statique, c'est-à-dire à celle où la courbe des pressions passe aux extrémités des joints de la clef, des reins et du plan des naissances; parce que, outre que les poussées contraires rendent tout mouvement du pied-droit impossible, la maçonnerie qui relie les deux voûtes au-dessus du plan des naissances rend impossible le glissement et le renversement de la partie de voûte comprise entre les naissances et les reins. Le massif de maçonnerie qui reliera les deux voûtes doit être construit au moins jusqu'aux joints de rupture des voûtes avant le décintrement et le déchargement.

Calcul d'une voûte en maçonnerie. — Soit (*fig.* 384) une voûte ABCD dont l'intrados est en plein cintre et dont le pied-droit est surchargé jusqu'au plan horizontal supérieur MN. Sur la voûte est un remplissage en béton dont il faut tenir compte comme poids. A cet effet, admettons que le poids du mètre cube de ce remplissage soit de 1.500 kilogrammes, et celui de la ma-

çonnerie de la voûte 2.200 kilogrammes le mètre cube. La charge de la voûte proprement dite pour 1 mètre d'épaisseur est figurée

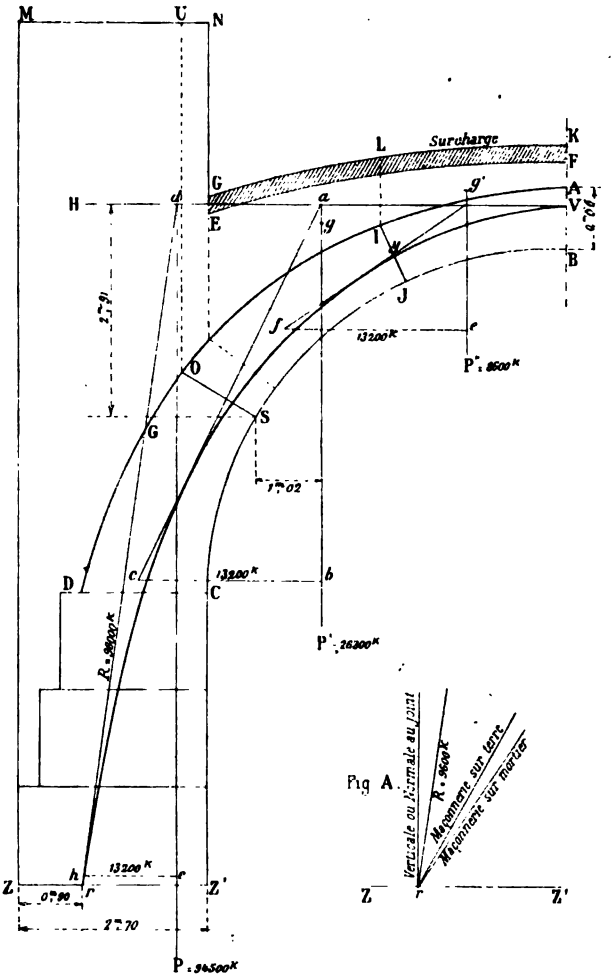


Fig. 384.

par son profil même. Quant au poids du remplissage en béton, pour le représenter, on réduira les hauteurs verticales de ce remplissage dans le rapport des densités 22 et 15.

On obtiendra ainsi pour la limite de la surcharge du remplis-

sage la courbe EF. En outre, si la voûte doit être soumise à une surcharge accidentelle, ou permanente, par mètre carré, on figurera la limite de cette surcharge par une autre courbe GK. Ainsi la surcharge accidentelle étant de 500 kilogrammes par mètre carré, elle pourrait être remplacée par une assise en maçonnerie dont l'épaisseur serait égale à 500 : 2000 en $0^m,25$; ce qui donnera la courbe GK.

Nous arrêtons les surfaces que nous venons de déterminer à l'aplomb de GN par la raison que la partie située à gauche est occupée par la maçonnerie qui charge le pied-droit et qui monte jusqu'au plan horizontal MN. Si ce massif n'existait pas, il faudrait prolonger les courbes LF, GK, en continuant la réduction des hauteurs comme il a été indiqué.

Subdivision de la voûte en massifs. — Cela fait, on subdivise la voûte et les pieds-droits par un certain nombre de joints réels ou fictifs tels que IJ, OS, CD, etc. ; et il s'agit alors de déterminer la pression sur chacun de ces joints, y compris la base inférieure ZZ'.

A cet effet, on complète la subdivision de l'ouvrage en un certain nombre de massifs, en procédant comme il suit : Ayant tracé arbitrairement un joint IJ, par exemple, on mène la verticale IL jusqu'à la limite supérieure du profil et l'on admet que la charge du joint IJ est le poids du massif LIJBKL. Sur le joint OS, plus bas, la charge est UNGKBSOU ; et ainsi de suite sur les autres joints. Après, on détermine le centre de gravité de chacun de ces massifs ou de chacune de ces sections qui les représentent sur l'épure. Cette détermination est minutieuse et doit être faite avec soin. Pour cette détermination, on peut procéder pratiquement, en faisant le tracé des panneaux sur du carton fort. On suspend chacun d'eux, successivement par deux de ses angles, et au moyen d'un fil à plomb on trace chaque fois sur le carton, la verticale passant par le point de suspension. Le point de rencontre de ces deux lignes est le centre de gravité du panneau. Comme vérification, on peut procéder pour un troisième angle. On commencera cette opération pour l'ensemble de la figure ; ce qui donnera le centre de gravité G. On découpe ensuite, à partir de la gauche, un premier panneau que l'on retire. On détermine le centre de gravité de la figure restante. On enlève successivement le massif relatif à chaque joint et l'on détermine à chaque opération le centre de gravité de la figure restante. Ensuite, on évalue les surfaces correspondant à chaque joint, et, en multipliant ces surfaces par 2.200 kilogrammes, on obtient les poids des fragments de maçonnerie, qui exercent des pressions sur les joints considérés, en admettant que, pour chaque joint, tel que IJ, la charge est celle comprise entre ce joint et l'axe vertical. On a donc par les opé-

rations précédentes les charges sur les différents joints et leurs points d'application ou les centres de gravité des profils correspondants.

Joint de rupture. — Dans les condstions ordinaires d'une voûte en plein cintre, la voûte tend à se briser en s'ouvrant aux sommets et aux reins, c'est-à-dire dans la région moyenne. Vers la clef, il y a écrasement à l'extrados, et le joint s'ouvre à l'intrados. Vers les reins de la voûte, il y a, au contraire, écrasement à l'intrados, et le joint s'ouvre à l'extrados.

Le joint de rupture aux reins de la voûte se trouve, d'ordinaire, vers OS, au tiers environ de l'intrados à partir du joint de naissance CD.

Pour la voûte en arc de cercle, le joint de rupture se trouve au joint même de naissance. Il en est de même pour une platebande. Pour le plein cintre et pour l'anse de panier (voûte surbaissée), il y a lieu de rechercher le joint de rupture qui se trouve situé environ au tiers de l'intrados, comme il a été dit, mais qui peut remonter plus haut, si la charge vers la clef prend plus d'importance, et redescendre, au contraire, si la charge vers les culées s'accroît.

Lorsqu'un joint OS, par exemple, commence à s'ouvrir en O, on admet qu'à ce moment la pression résultante des pressions passe au tiers ST de ce joint OS, du côté opposé à l'arête qui s'ouvre.

Si la voûte est prête à s'ouvrir en A, à la clef, nous admettons par cela même que la pression à la clef passe en V, au tiers du joint. A cause de la forme symétrique des deux moitiés de la voûte, la portion de droite exerce sur celle de gauche une poussée horizontale; celle-ci est donc dirigée suivant VH.

Détermination du joint de rupture. — Considérons un joint quelconque OS. Le massif de maçonnerie que porte ce joint tend à pivoter autour de l'arête S; cette tendance doit être détruite par la force horizontale agissant en X. Le poids du massif étant, par exemple, de 26.380 kilogr., son bras de levier, c'est-à-dire la distance de ce poids, appliqué au centre de gravité G du massif, à l'arête S, est de $1^m,02$; d'autre part, le bras du levier de la poussée horizontale Q est de $2^m,91$. Pour l'équilibre, ces deux moments doivent être égaux, ou :

$$Q \times 2^m,91 = 26.380^{kg} \times 1^m,02;$$

d'où la poussée Q, nécessaire pour l'équilibre, a pour valeur :

$$Q = \frac{26.380^{kg} \times 1^m,02}{2^m,91} = 9.230 \text{ kilogr.}$$

En faisant les mêmes calculs pour d'autres sections, telles que

OS, on obtient pour la poussée A des valeurs inférieures à la précédente.

On en conclut que le maximum de poussée nécessaire pour l'équilibre répond au joint OS et a pour valeur 9.300 kilogr. environ. Cela étant, ce joint OS est considéré comme le joint de rupture ; c'est celui où la rupture est le plus probable. On admet que la résultante des pressions sur ce joint passe au point T, situé au tiers du joint, du côté de l'intrados. Nous ne supposons pas que la résultante se rapproche plus encore de l'intrados, parce que ce serait admettre que la voûte est alors complètement ouverte à l'extrados; ce qui ne doit pas se produire.

En résumé, nous connaissons maintenant deux points de la courbe des pressions, l'un V à la clef, l'autre T sur le joint de rupture.

Il reste à déterminer les points de passage des résultantes des pressions sur chaque joint, points dont la réunion forme la courbe des pressions.

Considérons le joint de rupture OS et déterminons la pression effective sur ce joint, pression résultant des données. A cet effet remarquons que ce joint est soumis d'une part à la pression verticale ou poids 26.380 kilogr. (du massif OSBKGNUO, situé au-dessus de ce joint), poids appliqué en G, au centre de gravité et, d'autre part, à la poussée horizontale *p* de direction VH et provenant de la demi-voûte à droite. Formons le triangle rectangle *def* des forces, en prolongeant la verticale du point *g* jusqu'à la rencontre *d* sur VH. A partir du point de rencontre *d*, reportons verticalement le poids 26.300 kilogr.; au pied *b* de cette verticale, menons une horizontale *bc* et achevons le triangle rectangle *abc* dont l'hypoténuse doit passer sur le point T, fixé à l'avance sur le joint OS, au tiers de OS. La base *bc* de ce triangle est la poussée effective et horizontale de la voûte; elle est de 13.200 kilogr. Cela fait, on reprendra la série des joints en commençant par IJ à la partie supérieure de la voûte. Le poids du voussoir correspondant à ce joint est de 8.600 kilogr. Ce poids 8.600 kilogrammes rencontre VH en *d*; à partir de ce point *d*, on reporte verticalement ces 8.600 kilogr. ; au pied *e* on porte horizontalement la poussée 13.200 kilogr. ; la résultante est l'hypoténuse du triangle *def*, hypoténuse dont le prolongement coupe le joint IJ au point Y, qui appartient à la courbe des pressions. On fera les mêmes opérations pour les autres joints et l'on joindra par une courbe continue les divers points obtenus, ce qui donnera la courbe des pressions. Si l'on a divisé la voûte en trois bandes à peu près égales par des courbes SN et TR, la courbe des pressions doit être comprise entre ces deux courbes. Pour les culées on est plus tolérant; on s'astreint seulement à la condition que la courbe ne doit pas se rapprocher d'une arête

au-delà du quart de la largeur du joint ; à la rigueur, elle peut aller jusqu'à cette limite.

Il reste à s'assurer : 1° que la maçonnerie ne peut glisser sur aucun joint ; 2° que la maçonnerie ne peut glisser sur le terrain de fondation ; 3° qu'il ne peut se produire d'écrasement des matériaux sur aucun joint considéré.

Pour chaque joint, on décompose la résultante correspondante suivant les deux directions normale et parallèle au joint. La composante normale est la pression sur ce joint. Soit P cette résultante normale, et l la longueur du joint. Sur les joints où la pression passe au tiers de la longueur du joint, la pression sur l'arête la plus fatiguée est par mètre carré :

$$p = \frac{2P}{l}.$$

Ce qui suppose une épaisseur horizontale de voûte égale à 1 mètre (épaisseur mesurée perpendiculairement au plan de la figure). Ainsi la pression étant sur la base inférieure ZZ′ de 94.500 kilogr. et la longueur du joint de base étant de $2^m,70$, la pression sur l'arête en z' est :

$$p = \frac{2 \times 94.500^{kg}}{2^m,70} = 70.000 \text{ kilogr.},$$

1 mètre carré ou de 7 kilogr. par centimètre carré. C'est une grande pression qui exige des matériaux très résistants.

Il y aurait donc lieu d'élargir la base et de la porter à 3 mètres et même davantage. Si le point de passage r de la résultante sur ZZ′ était plus près de l'arête que le tiers de ZZ′, il faudrait dans le calcul précédent prendre le diviseur l égal à $3 \times Zr$.

Pour le joint de rupture OS, la pression maximum sur l'arête S serait :

$$p = \frac{13.200^{kg} \times 2}{1^m,20} = 50.000 \text{ kilogr.},$$

ou 5 kilogr. par centimètre carré.

Au sommet A, la pression serait :

$$p = \frac{13.200^{kg} \times 2}{0^m,60} = 40.000 \text{ kilogr.},$$

ou 4 kilogr. par centimètre carré.

Ces joints sont, en général, les seuls qu'il importe de considérer dans l'étude de la résistance à l'écrasement ; mais on peut faire le même calcul pour un joint quelconque.

Pour la condition du glissement de l'ouvrage sur chaque joint, on tracera l'inclinaison de l'angle du frottement, et l'on vérifiera

que l'inclinaison de la résultante sur chaque joint est supérieure à celle du frottement.

Pour qu'il ne puisse y avoir glissement sur le terrain de fondation, il faut que l'inclinaison de la résultante R (avec le sol ZZ') soit supérieure à l'inclinaison qui correspond à la maçonnerie frottant sur la terre, suivant la nature du terrain (voir *fig.* A, p. 626).

Exemple de calcul de deux voûtes d'ouvertures différentes (*fig.* 385). -- Ces voûtes sont construites en moellon et mortier

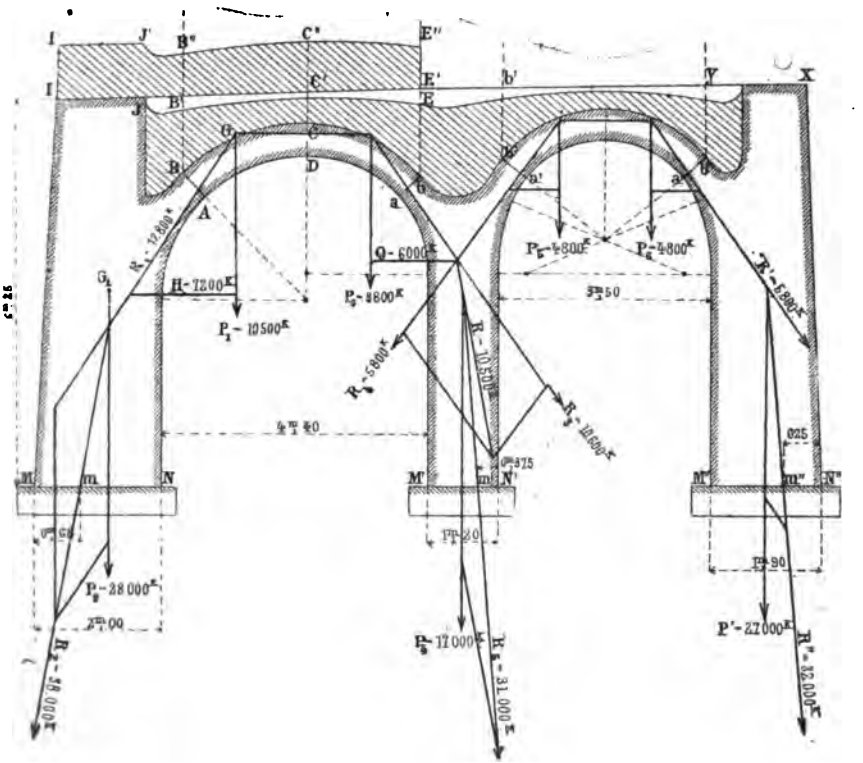


Fig. 385.

hydraulique. Au-dessus des voûtes se trouve une rampe IE' et à la suite une plate-forme horizontale E'X. Une surcharge II'KE'E', de 1 mètre de hauteur, est placée sur la grande voûte. Cette surcharge pèse 2.000 kilogr. le mètre cube. Le remblai au-dessus des voûtes pèse 1.600 kilogr. le mètre cube. La maçonnerie des voûtes

pèse 2.200 kilogr. le mètre cube. Pour tenir compte de la différence de densité, on réduit les hauteurs du remblai dans le rapport de 1.600 à 2.200 ou de 8 à 11 ; ce qui conduit à remplacer la ligne droite IJE'X par la ligne sinueuse JE'..., qui sert de limite au remblai de la voûte. On procédera de même pour représenter la surcharge en réduisant ses dimensions verticales dans le rapport des densités 2.000 à 2.200. On obtient ainsi la limite I'J'B'E' pour la limite de la surcharge. Cela fait, pour évaluer les poids des diverses fractions de l'ouvrage, voûte, remblai et surcharge, on évaluera les aires comprises entre l'intrados et la limite I'J'C'E'..., et on les multipliera par la densité 2.200 kilogr., ce qui donnera les poids par mètre courant dans le sens de l'axe longitudinal de la voûte.

Pour calculer approximativement les pressions sur la pile intermédiaire et sur les deux culées, considérons dans la grande voûte, à gauche, deux plans de joints AB, *ab*, vers les reins, et cherchons les pressions supportées par ces plans. A cet effet, fractionnons l'ouvrage par des plans verticaux BB'B', DC'C', *b*EE'E', et évaluons le poids du massif ABB'B'C'D. Ce qui donne $P_1 = 10.500$ kilogr. Déterminons le centre de gravité de ce massif : menons une horizontale au tiers de l'épaisseur de la clef du côté de l'extrados. Cette horizontale rencontre en G la verticale passant par le centre de gravité du massif. Construisons un triangle rectangle dont la hauteur soit égale à 10.500 kilogr. et dont l'hypoténuse passe au tiers (côté de l'intrados) du joint AB considéré. Ce triangle donne pour la poussée au sommet de la voûte :

$$\text{Base } H = 7.200 \text{ kilogr.}$$

La pression sur le joint AB est donnée par l'hypoténuse :

$$R_1 = 12.800 \text{ kilogr.}$$

Ensuite, on calculera le poids de toute la partie de la culée située à gauche du plan vertical BB', c'est-à-dire du solide ABB'I'IMNA ; ce qui donne 28.000 kilogr. environ. Ce poids, composé avec la poussée R_1 donne la résultante $R_2 = 38.000$ kilogr., qui est la pression sur la base MN de la culée. La distance $Mn = 0^m,68$; par suite, la charge par mètre carré tout près de l'angle M est :

$$P = \frac{2R}{e}\left(2 - \frac{3d}{e}\right). \qquad (1)$$

En prenant :

$$R = 38.000 \text{ kilogr.}$$
$$MNe = 2^m,00$$
$$Mmd = 0^m,68,$$

on trouve $P = 38.700$ kilogr. par mètre carré ou $3^{kg},87$ par centi-

mètre carré, ou un peu moins, en remplaçant R par sa composante normale.

En admettant que le moellon à mortier hydraulique puisse présenter une résistance permanente de 1/20 de la charge d'écrasement, il faut que le moellon employé puisse porter au moins 38.700 × 20 = 774.000 kilogr., ou $77^{kg},4$ par centimètre carré.

Pour la pile intermédiaire, on calculera les pressions sur les plans de joints *ab*, *a'b'*. Ces pressions R_3 et R_4 donnent la résultante R = 10.500 kilogr. On calculera le poids P_1 du massif M'*ab* E'*b'b'a'*N, ce qui donne 17.000 kilogr. ; puis on composera la résultante R avec ce poids P_1 ; ce qui donne la résultante R_5 = 31.000 kilogr., qui passe à $0^m,375$ de l'arête N ; par suite, la pression maximum rapportée au mètre carré près de l'arête N a pour valeur, d'après la formule (1), ci-dessus :

$$P = 55.280 \text{ kilogr.},$$

ou $5^{kg},5$ par centimètre carré.

Enfin la culée à droite se calculera de la même manière, en composant la poussée oblique R' = 5.800 kilogr. sur le joint *a''b''* avec le poids P' = 27.000 kilogr. du massif M''*a''b''*YXN'' ; ce qui donne la résultante finale R'' = 32.000 kilogr., qui passe à la distance *m'*N'' = $0^m,625$ de l'arête N'' la plus proche. La charge par mètre carré est donc d'après la formule (1) :

$$P = 37.300 \text{ kilogr.}$$

La charge réelle serait un peu moindre, par la raison qu'en toute rigueur il faudrait prendre la composante normale à la base horizontale M''N'' de la culée.

Profil d'équilibre d'une voûte. — L'établissement de ce profil d'équilibre, d'après Dejardin, est basé sur le principe suivant : *Dans les voûtes construites suivant une des formes usitées, la pression, quelle que soit sa valeur, qui agit dans le sens du contour de l'intrados, croît depuis le sommet jusqu'aux naissances.*

Tracé de la courbe d'extrados de ce profil. — L'intrados étant donné, le profil sera déterminé par le tracé de l'extrados.

Partant de l'épaisseur à la clef *e*, donnée par les formules précédentes, si l'on désigne (*fig.* 386), par *l'*, l'épaisseur variable de la voûte, c'est-à-dire la longueur des joints HH', LL', etc., et par α l'angle que fait avec la verticale chacun de ces joints, on a généralement :

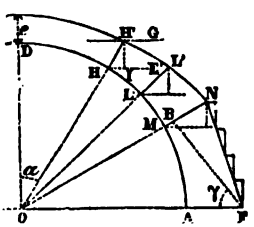


Fig. 386.

$$e' = \frac{e}{\cos \alpha}. \qquad (1)$$

De cette relation il résulte que la distance ρ du centre O à l'extrados, en un point correspondant à l'angle α, est, en désignant par r le rayon de l'intrados :

$$\rho = r + \frac{e}{\cos \alpha}. \qquad (2)$$

L'équation (2) conduit à deux constructions géométriques élémentaires, dont l'une permet de *tracer la courbe d'extrados d'un mouvement continu.*

En premier lieu, les équations (1) et (2) expriment que tous les joints HH', LL', etc., doivent avoir une projection verticale constamment égale à e ; si donc on mène une normale quelconque OHH', rencontrant l'intrados en H, qu'à une hauteur H'I $= e$, au-dessus du point H, on mène l'horizontale indéfinie H'G, la rencontre de cette ligne avec la normale OH prolongée donnera le point H' de l'extrados correspondant au point H.

En second lieu (*fig.* 387), si à une hauteur OO' $= e$, au-dessus de la ligne de naissance OA, on mène l'horizontale O'A', et qu'on trace la ligne de joint quelconque OM, faisant un angle α avec la verticale, et coupant en B l'horizontale O'A', il suffira de porter sur la ligne OM prolongée la distance BM' $= r$, pour avoir le point M' de l'extrados correspondant au point M. On a, en effet,

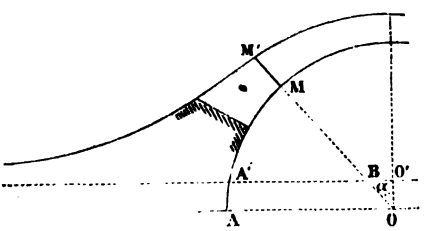


Fig. 387.

$$OB = \frac{OO'}{\cos \alpha} = \frac{e}{\cos \alpha}, \text{ d'où } OM' = OB + BM' = \frac{e}{\cos \alpha} + r = \rho.$$

La dernière construction peut conduire à un tracé de la courbe par mouvement continu. On remplace l'horizontale O'A' par une règle fixe, et la ligne de joint OM par une règle mobile qui est traversée au point B, à une distance r de son extrémité M', par un style ; on fait mouvoir la seconde règle de manière que son prolongement inférieur passe toujours par le centre O, et qu'en même temps le style s'appuie toujours contre la règle fixe O'A'. Dans ce mouvement, l'extrémité M' décrit évidemment la courbe d'extrados. On réalise facilement ce mode de tracé sur les épures de voûtes, en pratiquant dans la règle O'A' une rainure continue, dans laquelle glisse le style de la règle mobile, et en pratiquant de même dans cette dernière, et de B

vers O, une semblable rainure glissant à son tour sur un style fixe planté au centre O.

La solution précédente peut être étendue au tracé de la courbe d'extrados d'une voûte dont l'intrados est quelconque, pourvu que, pour chaque inclinaison de la normale à l'intrados, on connaisse la longueur du rayon de courbure, et l'on saura toujours déterminer cette donnée dans les courbes d'intrados qui peuvent être adoptées.

Pour les courbes d'intrados quelconques, désignant toujours par :

e', la longueur variable des joints :
r', un rayon de courbure quelconque de l'intrados, faisant l'angle α avec la verticale ;
r, le rayon de courbure au sommet de l'intrados ;
e, l'épaisseur à la clef ;

on a :

$$e' = \frac{r}{r'} \times \frac{e}{\cos \alpha}. \qquad (3)$$

Cette solution, suffisante en pratique, conduit à une construction élémentaire, qui pourra être faite sur l'épure même de la voûte.

On portera (*fig.* 388), sur une verticale, OA $= r$, OB $= e$, et l'on mènera l'horizontale indéfinie BD. Pour obtenir la longueur e d'un joint quelconque faisant l'angle α avec la verticale, on mènera OK parallèle au joint e', c'est-à-dire faisant l'angle α avec la verticale, on prendra OK $= r'$, et par le point I, où OK rencontre l'horizontale BD, on mènera IL parallèle à AK ; OL sera la longueur e' cherchée. En effet les triangles semblables AOK, LOI donnent :

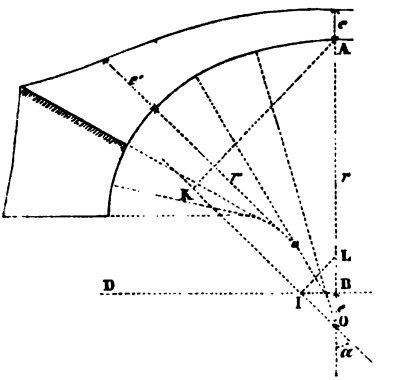


Fig. 388.

$$OL = \frac{OA \times OI}{OK} = \frac{r}{r'} \times \frac{e}{\cos \alpha}.$$

Dans l'application, l'intrados est ordinairement tracé par rayons de courbure successifs ; OA se trouve tout porté sur l'épure, et OK, OK', etc., sont des parallèles aux autres rayons de courbure, qui se trouvent aussi sur l'épure.

Ces courbes d'extrados déterminées par les équations (1), (2)

et (3), sont désignées par Dejardin sous le nom de *péricycloïdes ;* elles ont toutes pour asymptote rectiligne l'horizontale O'A' menée à une distance *e* au-dessus de la ligne des naissances (*fig.* 388), ou, en d'autres termes, le voussoir à la naissance aurait une longueur infinie. Cette contradiction montre que, dans la condition donnée, il n'est point possible d'extradosser complètement une voûte.

La courbe précédente d'extrados doit s'arrêter à une certaine hauteur au-dessus des naissances. D'après ce qui a été dit, on supposera que la courbe d'extrados s'arrête au joint extrême, c'est-à-dire au joint incliné à 30° sur l'horizontale. Dans les voûtes à intrados elliptique, selon que la montée est égale à 1/2, 1/3 ou 1/4 de l'ouverture, l'origine des joints extrêmes est déterminée par une horizontale menée à 1/2, 1/3 ou 1/4 de la hauteur sous clef à partir des naissances.

Pour une courbe d'intrados quelconque, la *surface du profil de la voûte* peut être déterminée à l'aide du procédé graphique indiqué précédemment; mais, lorsque cette courbe est un arc de cercle, la surface d'une portion de profil, comprise entre la verticale, menée par l'axe de la voûte et un joint faisant un angle α avec la verticale, a pour expression générale :

$$S' = \frac{1}{2}\left(er\,\mathrm{L.}\,\frac{1+\sin\alpha}{1-\sin\alpha} + e^2 \tang\alpha\right).$$

r, rayon de l'intrados;
L., indice des logarithmes népériens.
Les autres lettres ont les mêmes significations que ci-dessus.

Les deux termes variables qui entrent dans la valeur de S' étant donnés de degré en degré dans le tableau suivant, il sera donc de la plus grande facilité d'obtenir la surface voulue jusqu'à un joint quelconque, pour lequel α est égal à un nombre entier de degrés.

Pour les voûtes à intrados en arc de cercle, la formule suivante donne approximativement la *longueur du développement de la courbe d'extrados*, depuis le sommet jusqu'à un joint quelconque, longueur qui n'a, du reste, d'importance que pour l'évaluation de la chape :

$$L' = l' + \frac{S'}{r}.$$

l', longueur de l'arc d'intrados dans les limites correspondant à L';
S', surface du profil dans les mêmes limites.

Cette formule donne des résultats qui ne diffèrent de la vérité que de 1/5 de l'épaisseur *e* à la clef, erreur négligeable.

Le tableau suivant donne les *valeurs numériques des coefficients nécessaires au calcul des profils des voûtes à intrados circulaire.*

α	$\pi\frac{\alpha}{180}$	L. $\frac{1+\sin\alpha}{1-\sin\alpha}$	TANG α	$\frac{1}{\cos\alpha}$	L. $\frac{1}{\cos\alpha}$	$\frac{\text{TANG }\alpha}{\cos\alpha}$	α	$\pi\frac{\alpha}{180}$	L. $\frac{1+\sin\alpha}{1-\sin\alpha}$	TANG α	$\frac{1}{\cos\alpha}$	L. $\frac{1}{\cos\alpha}$	$\frac{\text{TANG }\alpha}{\cos\alpha}$
0	0,000000	0,000000	0,000000	1,000000	0,000000	0,000000	38	0,663225	1,435988	0,781286	1,269018	0,238244	0,991466
1	0,017453	0,034989	0,017455	1,000152	0,000152	0,017458	39	0,680678	1,480580	0,809784	1,286759	0,252127	1,041997
2	0,034907	0,069827	0,034921	1,000609	0,000609	0,034942	40	0,698132	1,525821	0,839100	1,305407	0,266515	1,095367
3	0,052360	0,104768	0,052408	1,001372	0,001371	0,052480	41	0,715585	1,571726	0,869287	1,325003	0,281422	1,151816
4	0,069813	0,139740	0,069927	1,002442	0,002439	0,070098	42	0,733038	1,618335	0,900404	1,345632	0,296864	1,211613
5	0,087266	0,174353	0,087495	1,003820	0,003813	0,087823	43	0,750492	1,665880	0,932515	1,367327	0,312858	1,275053
6	0,104720	0,209823	0,105104	1,005508	0,005493	0,105683	44	0,767945	1,713804	0,965689	1,390164	0,329421	1,342466
7	0,122173	0,244956	0,122785	1,007510	0,007482	0,123707	45	0,785398	1,762749	1,000000	1,414214	0,346574	1,414214
8	0,139626	0,280165	0,140541	1,009828	0,009780	0,141922	46	0,802851	1,812583	1,035530	1,439556	0,364335	1,490704
9	0,157080	0,315459	0,158384	1,012465	0,012388	0,160359	47	0,820305	1,863268	1,072369	1,466279	0,382728	1,572392
10	0,174533	0,352471	0,176327	1,015427	0,015309	0,179047	48	0,837758	1,914934	1,110612	1,494477	0,401776	1,659784
11	0,191986	0,386353	0,194380	1,018717	0,018544	0,198018	49	0,855211	1,967616	1,150368	1,524253	0,421505	1,754452
12	0,209440	0,421976	0,212557	1,022341	0,022095	0,217305	50	0,872665	2,021366	1,191754	1,555724	0,441941	1,854039
13	0,226893	0,457677	0,230868	1,026304	0,025964	0,236941	51	0,890118	2,076247	1,234897	1,589016	0,463115	1,962271
14	0,244346	0,493629	0,249328	1,030614	0,030154	0,256961	52	0,907571	2,132323	1,279942	1,624269	0,485058	2,078970
15	0,261799	0,529685	0,267949	1,035276	0,034668	0,277401	53	0,925024	2,189666	1,327045	1,661640	0,507805	2,205071
16	0,279253	0,565909	0,286745	1,040299	0,039510	0,298301	54	0,942478	2,248354	1,376382	1,701302	0,531393	2,341641
17	0,296706	0,602313	0,305731	1,045692	0,044679	0,319700	55	0,959931	2,308468	1,428148	1,743447	0,555864	2,489900
18	0,314159	0,638916	0,324920	1,051462	0,050182	0,341641	56	0,977384	2,370103	1,481561	1,788291	0,581261	2,651251
19	0,331613	0,675725	0,344328	1,057621	0,056022	0,364168	57	0,994838	2,433350	1,539869	1,836079	0,607632	2,827312
20	0,349066	0,712757	0,363970	1,064178	0,062202	0,387329	58	1,012291	2,498320	1,600335	1,887080	0,635031	3,019960
21	0,366519	0,750025	0,383864	1,071145	0,068728	0,411174	59	1,029744	2,565133	1,664280	1,941604	0,663514	3,231372
22	0,383972	0,787542	0,404026	1,078535	0,074910	0,435756	60	1,047197	2,639913	1,732050	2,000000	0,693147	3,464101
23	0,401426	0,825325	0,424475	1,086360	0,082833	0,461133	61	1,064651	2,704810	1,804048	2,062660	0,723997	3,721147
24	0,418879	0,863390	0,445229	1,094634	0,090422	0,487363	62	1,082104	2,777968	1,880726	2,130054	0,756147	4,006050
25	0,436332	0,901750	0,466308	1,103378	0,098376	0,514513	63	1,099557	2,853577	1,962610	2,202689	0,789679	4,323021
26	0,453786	0,940425	0,487733	1,112602	0,106701	0,542652	64	1,117011	2,931869	2,050304	2,281172	0,824689	4,677096
27	0,471239	0,979434	0,509525	1,122326	0,115403	0,571854	65	1,134464	3,012907	2,144507	2,366201	0,861286	5,074326
28	0,488692	1,018786	0,531710	1,132570	0,124489	0,602198	66	1,151917	3,097094	2,246037	2,458593	0,899589	5,522091
29	0,506145	1,058507	0,554310	1,143354	0,133966	0,633771	67	1,169371	3,184648	2,355852	2,559305	0,939735	6,029344
30	0,523599	1,098612	0,577350	1,154701	0,143841	0,666667	68	1,186824	3,268352	2,475086	2,669467	0,981879	6,607161
31	0,541052	1,139125	0,600861	1,166636	0,154122	0,700984	69	1,204277	3,371138	2,605090	2,803308	1,026195	7,269313
32	0,558505	1,180065	0,624870	1,179178	0,164818	0,736832	70	1,221730	3,470830	2,747477	2,930545	1,072885	8,033086
33	0,575959	1,221451	0,649408	1,192366	0,175937	0,774330	71	1,239184	3,575425	2,904211	3,071553	1,122183	8,920438
34	0,593412	1,263316	0,674508	1,206218	0,187489	0,813604	72	1,256637	3,685459	3,077685	3,236068	1,174359	9,959522
35	0,610865	1,305672	0,700208	1,220775	0,199490	0,854796	73	1,274090	3,801571	3,270852	3,420304	1,229729	11,187308
36	0,628318	1,348546	0,726543	1,236068	0,211935	0,898056	74	1,291544	3,924508	3,487415	3,627956	1,288669	12,652185
37	0,645772	1,391976	0,753554	1,252136	0,224851	0,943552	75	1,308997	4,055174	3,732050	3,863704	1,351626	14,419536

Poussée horizontale des voûtes. — Dans le profil d'équilibre déterminé comme il vient d'être dit, la *pression à la clef* ou la *poussée horizontale* est, pour les voûtes à intrados circulaire,

$$Q = \frac{d}{2}(2er + e^2).$$

Q, poussée horizontale par unité de longueur de voûte;
d, poids spécifique de la maçonnerie;
e, épaisseur de la voûte à la clef;
r, rayon de l'intrados.

Ainsi cette poussée croît avec la densité de la maçonnerie, le rayon de la voûte et son épaisseur à la clef.

Pour les *voûtes à intrados quelconque*, on a, en désignant par r_1 le rayon de courbure au sommet de l'intrados,

$$Q = \frac{d}{2}(2er_1 + e^2).$$

Pour voûtes en ogive (*fig.* 389). — Considérons une portion de voûte *mn*MN, dont l'intrados est décrit d'un rayon OA = r, et qui s'étend depuis le joint MN rendu fixe, jusqu'à un joint déterminé *mn*, dont la direction fait un angle β avec la verticale. Cette portion de voûte peut être regardée comme appartenant à une demi-voûte circulaire ayant un rayon d'intrados r et une épaisseur e à la clef. Si l'on règle le profil de la voûte de manière qu'il exerce une pression constante normalement à l'intrados, il suffira, pour conserver la forme circulaire de cet intrados, d'appliquer en m une force tangentielle :

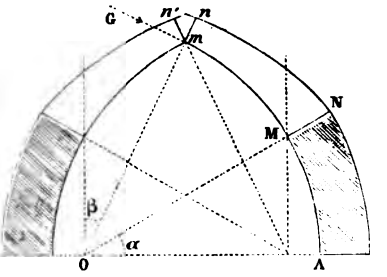


Fig. 389.

$$G = \frac{d}{2}(2er + e^2).$$

Ici on ne pourrait pas, comme dans le cas des pleins cintres, établir l'équilibre de la portion de voûte *mn*MN, en lui accolant, suivant les joints de la clef, une autre portion de voûte symétriquement égale. En effet, la pression G qui s'exerce tangentiellement à l'intrados peut être décomposée en deux forces, dont

l'une, horizontale, n'est autre chose que la poussée horizontale de la voûte et a pour valeur :

$$Q = G \cos \beta = \frac{d}{2} (2er + e^2) \cos \beta,$$

et l'autre, verticale, est égale à :

$$Q' = G \sin \beta = \frac{d}{2} (2er + e^2) \sin \beta.$$

Ainsi, au lieu d'appliquer au point m la force horizontale Q, on peut bien accoler contre le joint mn, et par l'intermédiaire du triangle matériel nmn', une autre portion de voûte symétriquement égale à la portion mMA ; mais il faudra, en même temps, appliquer au sommet un poids Q' pour chaque demi-voûte, ou un poids 2Q' pour la voûte entière. Ce poids 2Q', y compris celui du triangle nmn', est indispensable pour l'équilibre.

Ce qui vient d'être dit suppose que le profil de la voûte est réglé de manière que la composante du poids, normale à l'intrados, soit constante. On adopte pour profil d'extrados le même mode que celui indiqué précédemment pour les voûtes circulaires. La constante e des formules (1), (2) et suivantes, ne représente point l'épaisseur à la clef pour la voûte ogivale, mais la *projection verticale constante* de tous les joints normaux à l'intrados.

Valeur et direction de la pression effective en un point d'une voûte. — Tracé de la courbe des pressions. — La pression pourrait s'exercer en tout point du joint de la clef, la pression normale étant toujours la même. Si Q est la poussée, calculée pour un rayon r aboutissant au sommet de l'intrados, la nouvelle poussée Q' qui correspondrait à un rayon r' aboutissant à un point quelconque de la clef serait :

$$Q' = \frac{r'}{r} Q.$$

Comme r' ne peut varier que de r à $r + e$, e étant l'épaisseur de la voûte à la clef, la plus petite et la plus grande valeur de la poussée horizontale ont respectivement pour expressions : Q et $\frac{r+e}{r}$ Q, Q ayant toujours la valeur du numéro précédent.

Quand la poussée horizontale a sa moindre valeur Q, la courbe des pressions passe au sommet de l'intrados, et la voûte tend à se rompre en s'ouvrant à l'extrados, par soulèvement de la clef, comme l'indique la figure 369. Quand, au contraire, la poussée horizontale prend sa plus grande valeur $\frac{r+e}{r}$ Q, la courbe des pressions passe par le sommet de l'extrados, et la voûte tend

à se rompre par affaissement de la clef, comme l'indique la figure 367.

La valeur de la pression effective et sa direction en un point quelconque d'une voûte, sont déterminées, d'après Dejardin, au moyen des formules suivantes :

La composante verticale Q_1 de la pression, quel que soit le trajet de la courbe des pressions, a toujours pour expression :

$$Q_1 = dS' = \frac{d}{2}\left(er\text{L.}\frac{1+\sin\alpha}{1-\sin\alpha} + e^2 \tang\alpha\right). \quad (1)$$

d, poids du mètre cube de maçonnerie.

Les autres lettres ont les mêmes significations que ci-dessus.

La composante horizontale, pour le cas limite, considéré ci-dessus, quand la courbe des pressions touche au sommet de l'intrados, a pour valeur :

$$Q = \frac{d}{2}(2er + e^2). \quad (2)$$

En même temps, l'inclinaison de la pression effective se détermine au moyen des formules suivantes, dans lesquelles

θ est l'angle que fait avec l'horizontale la direction de cette poussée sur le joint qui termine inférieurement la portion de voûte considérée :

$$\tang\theta = \frac{Q_1}{Q} = \frac{r}{2r+e}\text{L.}\frac{1+\sin\alpha}{1-\sin\alpha} + \frac{e}{2r+e}\tang\alpha. \quad (3)$$

Tous ces résultats pourront être calculés à l'aide de la table, page 641. D'ailleurs l'intensité de la pression effective T sur le joint extrême se calculera à l'aide de la même table et en vertu de la relation :

$$T = \frac{Q}{\cos\theta}. \quad (4)$$

Pour le second cas limite, indiqué ci-dessus, c'est-à-dire quand la courbe des pressions touche au sommet de l'extrados, on a, d'après ce qui précède :

$$Q'_1 = Q_1 = \frac{d}{2}\left(er\text{ L.}\frac{1+\sin\alpha}{1-\sin\alpha} + e^2 \tang\alpha\right) \quad (5)$$

$$Q' = \frac{d}{2}\frac{r+e}{r}(2er + e^2) \quad (6)$$

$$\tang\theta' = \frac{r}{r+e}\tang\theta \quad (7)$$

$$t' = \frac{Q'}{\cos\theta'}. \quad (8)$$

Table pour le tracé des courbes de pression dans les voûtes en plein cintre

DIMENSIONS des voûtes	α	θ	Θ	θ'	η	TANG α	TANG θ	TANG Θ	TANG θ'	TANG η
$r=1^m$ $e=0^m,40$	0°	0° 0′ 0″	0° 0′ 0″	0° 0′ 0″	0° 0′ 0″	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
	10	9 59 44	8 21 20	7 10 31	7 5 3	0,176251	0,176251	0,146876	0,125893	0,124279
	20	19 40 45	16 35 45	14 19 49	13 47 52	0,363970	0,357644	0,298036	0,255460	0,245584
	30	28 59 8	24 46 49	21 35 19	19 39 44	0,577350	0,553980	0,461650	0,395700	0,357307
	40	37 47 51	32 52 35	28 59 12	23 56 30	0,839100	0,775609	0,646341	0,554006	0,444013
	50	46 8 49	40 56 16	36 37 47	25 25 58	1,191754	1,040861	0,867385	0,743472	0,475539
	60	54 11 32	49 5 33	44 42 53	22 24 39	1,732050	1,386139	1,155116	0,990099	0,412393
$r=10^m$ $e=1^m,30$	0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
	10	9 59 43	9 22 47	8 51 53	8 0 50	0,176327	0,176241	0,165484	0,155965	0,155202
	20	19 38 18	18 31 27	17 29 16	17 31 5	0,363970	0,356842	0,335062	0,315789	0,315644
	30	28 51 20	27 21 23	25 59 42	25 35 0	0,577350	0,551018	0,517387	0,487622	0,478763
	40	37 30 30	35 46 51	34 11 12	33 3 33	0,839100	0,767561	0,720714	0,679257	0,650774
	50	45 36 57	43 48 44	42 7 10	38 39 49	1,191754	1,021734	0,959374	0,904189	0,800110
	60	53 18 51	51 34 15	49 54 28	40 19 58	1,732050	1,342291	1,260366	1,187868	0,849045
$r=20^m$ $e=2^m,30$	0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
	10	9 59 42	9 27 42	8 58 55	8 56 37	0,176327	0,176240	0,166657	0,158063	0,157378
	20	19 38 9	18 38 38	17 44 39	17 43 38	0,363970	0,356791	0,337391	0,319992	0,319667
	30	28 50 50	27 30 51	26 17 25	26 7 12	0,577350	0,550831	0,520880	0,494019	0,490330
	40	37 29 24	35 57 18	34 31 32	33 44 58	0,839100	0,767053	0,725346	0,687940	0,668169
	50	45 34 55	43 58 51	42 28 1	39 44 54	1,191754	1,020528	0,965038	0,915272	0,831645
	60	53 15 27	51 42 37	50 13 36	42 3 14	1,732050	1,339527	1,266692	1,201369	0,902110

OBSERVATIONS

r, rayon de l'intrados.
e, épaisseur de la voûte à la clef.
α, angle du joint avec la verticale et aussi angle avec l'horizontale de la tangente à l'intrados.
θ, Θ, θ', angles avec l'horizontale, correspondant à α, des tangentes menées aux courbes de pression qui passent, la première par le sommet de l'intrados, la deuxième par le milieu de l'épaisseur de la clef, la troisième par le sommet de l'extrados.
η, angle avec l'horizontale, correspondant à α, de la tangente à la courbe d'extrados.

Pour obtenir les mêmes éléments pour un point quelconque de l'épaisseur de la clef, situé à la distance r' du centre de la voûte, il suffirait de remplacer $r + e$ par r' dans les formules (6) et (7).

Ayant calculé les valeurs successives de tang θ, on aura, par une simple multiplication, celle de tang θ' correspondant à un même joint qui fait un angle quelconque α avec la verticale. On pourra tracer par tangentes successives les courbes de pression limites passant, l'une par le sommet d'intrados, l'autre par le sommet d'extrados. La première courbe, tangente au sommet de l'intrados, va couper le joint extrême à 1/18 de sa longueur, en partant de l'intrados ; la seconde courbe, tangente au sommet de l'extrados, va couper le joint extrême à 1/4 de sa longueur, en partant de l'extrados. Ces deux courbes peuvent être représentées approximativement par le procédé qui suit (*fig.* 390) :

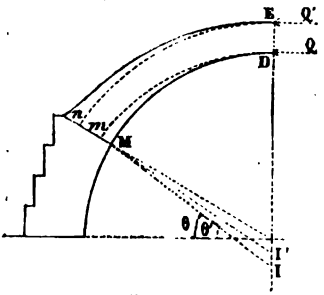


Fig. 390.

Si par le point M, extrémité intérieure du joint à 30°, on mène la ligne MI faisant un angle θ avec l'horizontale, l'arc de cercle D*m*, tracé du point I comme centre, suit à très peu près le trajet de la courbe minimum de pression. Si, par le même point, on mène la ligne MI' faisant un angle θ' avec l'horizontale, l'arc de cercle E*n*, tracé du point I' comme centre, représentera approximativement le trajet de la courbe maximum de pression.

Les résultats des calculs du tracé direct des deux courbes de pression sont donnés dans la table suivante, calculée de 10° en 10°, pour le cas d'une voûte de 1 mètre de rayon sur $0^m,40$ d'épaisseur à la clef, d'une voûte de 10 mètres de rayon sur $1^m,30$ d'épaisseur à la clef, et d'une voûte de 20 mètres de rayon sur $2^m,30$ d'épaisseur à la clef.

Ouverture et hauteur limites des voûtes et pieds-droits. — Si l'on désigne toujours par :

Q, la poussée horizontale ;
r, le rayon de la voûte ;
R, le coefficient de résistance pratique de la maçonnerie à l'écrasement ;
e, l'épaisseur à la clef ;
d, le poids du mètre cube de maçonnerie ;

la condition exprimant qu'il n'y a point écrasement à la clef est donnée par l'inégalité :

$$Re > \frac{d}{2}(2er + e^2) \quad \text{ou} \quad \frac{2R}{d} > 2r + e. \qquad (a)$$

Dès que r est déterminé, e l'est aussi, en vertu d'une des formules (p. 612). Si l'inégalité (a) n'est pas satisfaite, en raison des valeurs des coefficients R et d, particuliers à l'espèce de maçonnerie qu'on a en vue, cette maçonnerie est inadmissible, et il en faut adopter une autre pour laquelle le rapport $\frac{R}{d}$ soit plus considérable.

De là, une limite de l'ouverture des voûtes qui peuvent être construites avec chaque sorte de maçonnerie. Si, par exemple, il s'agit du plein cintre, et qu'on remplace e par sa valeur (p. 612), la limite de la valeur r sera donnée, pour chaque cas, par l'équation

$$r = \frac{1}{2,10}\left(\frac{2R}{d} - 0,30\right) = 0,932\,\frac{R}{d} - 0,143\,;$$

et en substituant dans cette formule, d'une part, les valeurs pratiques de R indiquées (p. 184) ; d'autre part, et pour d, la valeur 2,000, qui représente moyennement le poids spécifique de la maçonnerie en pierre et mortier, on trouve les relations suivantes entre les principales espèces de maçonneries et les limites d'ouverture qu'elles comportent pour la construction des arches en plein cintre :

Maçonnerie en moellons informes, en béton : $2r =$	environ	4m,50
— en moellons dits *pendants*.....	—	8 ,00
— en moellons équarris, bien posés....	—	18 ,00
— en moellons appareillés en coupe....	—	28 ,00
— en pierre de taille appareillée.....	—	46 ,00

On peut donner aux voûtes en petits matériaux et en ciment une ouverture limite égale à celle des voûtes en pierres de taille appareillées (p. 612).

Quant à la *hauteur limite des pieds-droits*, on doit attribuer au coefficient R une valeur quadruple de ce qu'elle est pour les voûtes. Si la voûte et les pieds-droits sont construits en même maçonnerie, et s'ils éprouvent l'un et l'autre une pression égale à la limite de leur résistance pratique, la limite de la hauteur h des pieds-droits est donnée par l'équation

$$h = \frac{9}{8}\,(2r + e).$$

La limite de l'ouverture de la voûte étant donnée en même temps par l'équation

$$2r + e = \frac{2R}{d},$$

si l'on adopte pour dimension à la clef la valeur (p. 612), on

aura pour limiter la hauteur des pieds-droits des voûtes en plein cintre

$$h = 2{,}362r + 0^{m}{,}338;$$

et, en appliquant cette dernière formule aux valeurs limites de r établies précédemment, on trouve:

Maçonnerie	en moellons bruts.....	$2r = 4^{m}{,}50h =$	environ	$5^{m}{,}60$
—	en moellons pendants...	$2r = 8{,}00h =$	—	$9{,}80$
—	en moellons équarris ...	$2r = 19{,}00h =$	—	$22{,}80$
—	en moellons appareillés.	$2r = 28{,}00h =$	—	$33{,}40$
—	en pierre de taille.....	$2r = 46{,}00h =$	—	$54{,}70$

Dans la pratique on ne s'approche presque jamais des limites ci-dessus fixées pour la hauteur des pieds-droits.

On peut adopter, pour déterminer la hauteur limite d'un pied-droit en équilibre sous le poids d'une voûte la formule :

$$h = \frac{9}{16}\frac{R}{d}.$$

R ayant ici une valeur quadruple de ce qu'elle est pour les voûtes.

En rapprochant ce résultat de celui

$$h = \frac{R}{d},$$

qui s'applique aux pieds-droits isolés et qui ne supportent aucune pression à leur sommet, on voit que, pour une même espèce de maçonnerie, les hauteurs limites d'un pied-droit isolé et d'un pied-droit de voûte sont entre elles comme les nombres 16 et 9.

Les résultats nécessaires pour l'exécution des voûtes en plein cintre et en arc de cercle de 60°, sont réunies dans les deux tables suivantes de Dejardin.

La figure 391 compare les diverses formes de voûtes, ayant même naissance et extradossées suivant une courbe. L'intrados de la première est une portion d'arc de cercle ; celui de la seconde, un plein cintre ; celui de la troisième, une ogive. C'est pour l'arc surbaissé que la courbe des pressions occupe la position la plus favorable à la répartition des pressions sur les joints, tandis qu'elle s'écarte beaucoup plus, tantôt de l'extrados, tantôt de l'intrados, dans le cas de l'ogive, où la répartition se fait plus inégalement ; ce qui exige plus d'épaisseur pour la voûte.

1° Table pour l'établissement des voûtes en plein cintre, de leurs culées et de leurs pieds-droits

MAÇONNERIE A EMPLOYER dans le massif	DIMENSIONS DONNÉES					VOLUME DE LA DEMI-VOUTE		ÉPAISSEUR UNIFORME PRATIQUE DES PIEDS-DROITS POUR UNE HAUTEUR ÉGALE A										
	RAYON de l'intrad.	ÉPAISSEUR à la clef (a)	ÉPAISSEUR aux naissances	RETRAITES (b) Hauteur	RETRAITES (b) Largeur	jusqu'au joint à 60°	jusqu'à la naissance	1m	2m	3m	4m	5m	6m	7m	8m	9m	10m	l'infini
	m.	m.	m.	m.	m.	m. cub.	m. cub.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.
Moellons informes..	1	0,40	0,45	0,900	»	0,665	1,007	0,70	0,95	1,03	1,07	1,10	1,12	1,13	1,14	1,14	1,15	1,20
	2	0,50	0,75	0,750	0,076	1,534	2,606	0,95	1,30	1,45	1,54	1,59	1,62	1,66	1,68	1,70	1,71	1,83
Moellons pendants..	3	0,60	1,05	0,700	0,137	2,682	4,723	1,04	1,53	1,77	1,92	2,01	2,07	2,12	2,16	2,19	2,21	2,44
	4	0,70	1,35	0,675	0,168	4,112	7,373	1,08	1,70	2,03	2,24	2,37	2,47	2,54	2,60	2,64	2,68	3,02
	5	0,80	1,65	0,660	0,187	5,822	10,558	1,11	1,82	2,23	2,51	2,70	2,83	2,92	3,00	3,06	3,11	3,60
	6	0,90	1,95	0,650	0,199	7,813	14,279	1,13	1,92	2,42	2,75	2,98	3,15	3,28	3,37	3,45	3,52	4,17
Moellons équarris...	7	1,00	2,25	0,643	0,208	10,085	18,537	1,14	2,00	2,57	2,96	3,24	3,44	3,63	3,72	3,82	3,91	4,74
	8	1,10	2,55	0,636	0,215	12,637	23,332	1,15	2,06	2,71	3,14	3,47	3,71	3,90	4,05	4,17	4,27	5,31
	9	1,20	2,85	0,633	0,220	15,470	28,663	1,16	2,10	2,80	3,30	3,67	3,96	4,18	4,35	4,50	4,62	5,88
	10	1,30	3,15	0,630	0,224	18,584	34,532	1,16	2,14	2,88	3,44	3,86	4,18	4,43	4,64	4,81	4,94	6,44
	11	1,40	3,45	0,627	0,227	21,979	40,937	1,17	2,17	2,96	3,56	4,02	4,38	4,67	4,90	5,09	5,25	7,01
Moellons appareillés.	12	1,50	3,75	0,623	0,230	25,654	47,880	1,17	2,19	3,02	3,67	4,17	4,57	4,89	5,15	5,37	5,55	7,57
	13	1,60	4,05	0,623	0,232	29,610	55,359	1,17	2,21	3,08	3,76	4,31	4,74	5,09	5,38	5,62	5,83	8,14
	14	1,70	4,35	0,621	0,234	33,846	63,376	1,17	2,23	3,12	3,85	4,43	4,90	5,28	5,60	5,87	6,09	8,70
	15	1,80	4,65	0,620	0,236	38,364	71,930	1,17	2,25	3,16	3,92	4,54	5,04	5,46	5,80	6,09	6,34	9,27
	16	1,90	4,95	0,619	0,238	43,162	81,020	1,17	2,26	3,20	3,99	4,64	5,17	5,62	5,99	6,31	6,58	9,83
Pierre de taille.....	17	2,00	5,25	0,618	0,239	48,241	90,648	1,18	2,27	3,23	4,04	4,72	5,29	5,77	6,17	6,51	6,80	10,39
	18	2,10	5,55	0,617	0,240	53,600	100,813	1,18	2,28	3,26	4,10	4,81	5,40	5,91	6,34	6,70	7,02	10,95
	19	2,20	5,85	0,616	0,241	59,240	111,515	1,18	2,29	3,28	4,14	4,88	5,51	6,04	6,49	6,88	7,22	11,52
	20	2,30	6,15	0,615	0,242	65,161	122,754	1,18	2,29	3,30	4,18	4,95	5,60	6,16	6,64	7,05	7,41	12,08

(a) Au joint incliné à 60° sur la verticale, l'épaisseur est le double qu'à la clef.
(b) Le nombre des retraites est exprimé par le nombre de mètres du rayon.

2° Table pour l'établissement des voûtes en arc de cercle de 60°, c'est-à-dire dont le rayon d'intrados est égal à l'ouverture, de leurs culées et de leurs pieds-droits.

DIMENSIONS DONNÉES					VOLUME de la demi-voûte		ÉPAISSEUR UNIFORME PRATIQUE des pieds-droits pour une hauteur égale à					
Rayon d'intrad.	ÉPAISSEUR à la clef	ÉPAISSEUR aux joints extrêmes	ÉPAISSEUR au niveau des naissances	Hauteur de maçonn. au-dessus des naissances	seule	et du massif faisant culée	2m	4m	6m	8m	10m	l'infini
m.	m.	m.	m.	m.	m.cub.	m.cub.	m.	m.	m.	m.	m.	m.
2	0,40	0,462	0,37	0,40	0,486	0,824	1,43	1,52	1,56	1,57	1,58	1,62
4	0,50	0,577	1,00	1,00	1,171	2,026	2,07	2,28	2,36	2,40	2,42	2,52
6	0,60	0,693	1,50	1,20	2,081	3,674	2,57	2,94	3,08	3,15	3,19	6,37
8	0,70	0,808	2,00	1,40	3,218	5,735	2,99	3,53	3,74	3,84	3,91	4,19
10	0,80	0,924	2,50	1,60	4,579	8,210	3,35	4,07	4,36	4,51	4,60	5,00
12	0,90	1,039	3,00	1,80	6,166	11,099	3,65	4,57	4,95	5,15	5,27	5,80
14	1,00	1,155	3,50	2,00	7,979	14,402	3,91	5,04	5,50	5,76	5,91	6,59
16	1,10	1,270	4,00	2,20	10,017	18,119	4,14	5,46	6,03	6,34	6,54	7,39
18	1,20	1,386	3,08	3,60	12,281	22,249	4,33	5,86	6,54	6,91	7,15	8,18
20	1,30	1,501	3,33	3,90	14,770	26,794	4,50	6,23	7,01	7,45	7,73	8,97
22	1,40	1,617	3,67	4,20	17,484	31,753	4,64	6,57	7,47	7,98	8,36	9,76
24	1,50	1,732	4,00	4,50	20,455	37,126	4,77	6,89	7,90	8,49	8,86	10,55
26	1,60	1,848	4,33	4,80	23,590	42,912	4,88	7,18	8,32	8,97	9,40	11,34
28	1,70	1,963	4,67	5,10	26,981	49,113	4,98	7,46	8,71	9,44	9,92	12,13
30	1,80	2,079	5,00	5,40	30,598	55,727	5,07	7,71	9,08	9,895	10,43	12,92
32	1,90	2,194	5,33	5,70	34,440	62,756	5,14	7,95	9,44	10,33	10,92	13,70
34	2,00	2,309	5,67	6,00	38,508	70,198	5,21	8,17	9,78	10,75	11,48	14,49
36	2,10	2,425	6,00	6,30	42,801	78,055	5,27	8,39	10,10	11,16	11,86	15,28
38	2,20	2,540	6,33	6,60	47,320	86,325	5,32	8,56	10,41	11,55	12,32	16,06
40	2,30	2,656	6,67	6,90	52,063	95,010	5,37	8,74	10,70	11,95	12,76	16,85

De quelques voûtes d'une espèce particulière

Dômes. — Considérons d'abord un dôme intrados hémisphérique (*fig.* 392). Supposant que les matériaux n'exercent entre eux aucun frottement et aucune adhérence, et que les dimensions de l'extrados étant réglées de telle manière qu'en chaque point de l'intrados la composante normale des actions exercées est constante, d'où il résulte que la surface d'équilibre de cet intrados est celle d'une sphère. Dejardin, en considérant la voûte comme composée d'onglets infiniment petits déterminés par des plans méridiens verticaux, arrive à la formule

$$q = \frac{Q}{\sin \alpha}. \qquad (1)$$

Q, poussée horizontale sur le joint de la base, rapportée à l'unité de longueur de la circonférence intérieure de l'intrados, et calculée comme pour un berceau cylindrique dont le profil serait celui déterminé dans le dôme par le plan du méridien (p. 638);

q, poussée horizontale sur un joint quelconque mn, rapportée à l'unité de longueur du parallèle de l'intrados déterminé par le joint mn;
α, angle que fait la génératrice On du joint mn avec la verticale.

La relation précédente est tirée de ce que la poussée horizontale totale est la même pour tous les joints, pris en totalité ou sur un même onglet, et elle montre que, rapportée à l'unité de longueur des parallèles de l'intrados, cette poussée croît depuis la base jusqu'au sommet, en raison inverse de sin α ou du rayon des parallèles horizontaux de l'intrados.

Supposant la voûte complétée par la juxtaposition de tous les onglets différentiels qui ont servi à établir la relation précédente, l'équilibre de la voûte entière aura lieu s'il a été établi dans chaque onglet en particulier, c'est-à-dire si cet onglet, considéré comme appartenant à un berceau droit, a été réglé suivant le profil d'équilibre (p. 633 et suivantes).

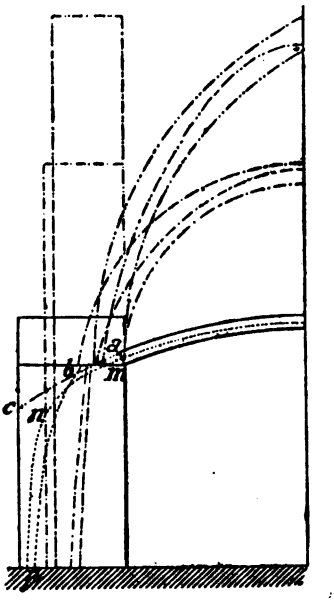


Fig. 391.

Concevons que, de la voûte complète, on enlève une calotte se terminant au joint conique mn, dont la génératrice fait un angle α avec la verticale, et qui s'appuie par conséquent sur un parallèle de l'intrados ayant un rayon égal à r sin α. D'après ce qu'on a vu tout à l'heure, chaque point du dit parallèle éprouvera, par unité de longueur, une poussée horizontale $q = \frac{Q}{\sin \alpha}$, dirigée vers l'axe vertical de la sphère, et cette action normale continue fera naître, suivant le parallèle, une pression circulaire dont l'intensité totale sera égale à :

$$r \sin \alpha \times \frac{Q}{\sin \alpha} = Qr.$$

Lorsqu'on enlève une portion quelconque de la calotte sphérique, il s'établit un nouveau mode d'équilibre en raison duquel le parallèle supérieur éprouve une pression circulaire horizontale qui, pour tous les parallèles, est égale au produit du rayon

de l'intrados par la poussée horizontale qui résulte du profil du dôme, considéré comme le profil d'un berceau droit.

L'équilibre des voûtes en dôme peut se maintenir et la poussée peut s'y établir de deux manières : ou bien la voûte se partage en onglets qui s'équilibrent deux à deux en s'arc-boutant par le sommet, alors la pression sur l'unité de surface des voussoirs croîtrait fort rapidement de la base au sommet; ou bien la voûte se partage en rangs circulaires de voussoirs aboutissant à des parallèles de l'intrados; alors chacun de ces parallèles, en raison du poids de la partie supérieure, éprouve une tension circulaire égale à Qr, et qui est combattue par la pression égale du rang de voussoirs qui le touche inférieurement: *cette pression circulaire constante remplace ici la poussée horizontale constante des voûtes en berceau.* Dans la réalité, l'équilibre participe des deux modes de résistance.

Les ceintures circulaires appliquées à l'extérieur des dômes sont efficaces. *La tension des ceintures est la même, à quelque hauteur qu'on les place*, de même que dans les voûtes en berceau la tension des brides horizontales serait la même à toute hauteur.

Profil des voûtes en dôme. — Le profil des berceaux circulaires qui deviendrait celui des dômes à intrados sphérique conduirait à un extrados très aplati. On remédiera à cet inconvénient en adoptant pour l'intrados un profil surhaussé tel que le profil d'équilibre de l'extrados correspondant se rapproche de la figure voulue. La longueur des joints ira en diminuant depuis le sommet jusqu'à la naissance; ce qui permettra de réduire les dimensions du tambour portant le dôme.

Supposons (*fig.* 392) que, pendant la construction, les voussoirs étaient non pas portés sur un cintre fixé suivant l'intrados MDM', mais suspendus à un système fixe appliqué suivant l'extrados AEA'. Pour que la forme circulaire de l'extrados se conserve, lorsque la voûte sera abandonnée à elle-même, il faut que les actions appliquées aux points N, n, etc., aient une composante constante normale à l'extrados, c'est-à-dire suivant les directions ON, On, etc. Alors il s'établira, suivant l'arc d'extrados, une pression circulaire qui remplacera le système de suspension des voussoirs. La question devient la même, au signe près, que

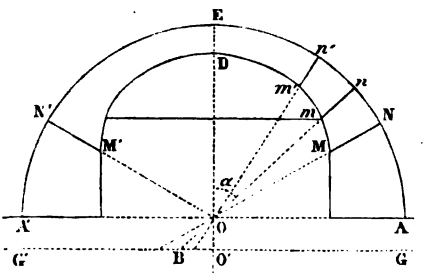


Fig. 392.

celle résolue au moyen de la formule (2), page 633 ; par suite, l'équation de l'intrados MDM', rapportée aux coordonnées polaires ρ et α, deviendra pratiquement :

$$\rho = r - \frac{e}{\cos \alpha}, \qquad (1)$$

r désignant ici le rayon de l'extrados, et e l'épaisseur à la clef DE.

Cette courbe se construira par un procédé analogue à celui indiqué p. 633. On mènera l'horizontale GG' à une distance $OO' = e$ au-dessous du diamètre de l'extrados, et pour avoir un point quelconque m de l'intrados, on prolongera le rayon nO jusqu'à sa rencontre B avec l'horizontale GG', et l'on portera de B en m la longueur r.

La courbe peut être tracée d'un mouvement continu, comme p. 634.

La courbe d'intrados déterminée est la branche inférieure de la péricycloïde, dont on n'avait considéré que la branche supérieure, p. 634. L'une et l'autre branche sont représentées par l'équation (2) de la page 634 ou par l'équation (1) ci-dessus, lorsqu'on y fait varier α depuis 0° jusqu'à 180°. La solution, dans l'un et l'autre cas, répond à la fois à la question directe d'un intrados circulaire et à la question inverse d'un intrados circulaire.

En discutant l'équation (1), on reconnaît que la courbe a une tangente verticale au point M, sur le joint à 60°, pourvu que les dimensions e et r soient liées par la relation pratique

$$e = \frac{r}{8}. \qquad (2)$$

Si cette condition n'était point satisfaite, la tangente verticale correspondrait à un joint dont l'inclinaison α sur la verticale serait donnée par l'équation :

$$\cos \alpha = \sqrt[3]{\frac{e}{r}}. \qquad (3)$$

On pourra disposer de l'une des indéterminées e et r, de manière à donner à la coupole intérieure une montée ou une ouverture donnée.

En raisonnant ici comme on l'a fait pour les berceaux circulaires (p. 638), on trouvera l'expression de la poussée horizontale constante, rapportée à l'unité de longueur du berceau :

$$Q = \frac{d}{2}(2er - e^2). \qquad (4)$$

En déduisant le profil décrivant du dôme équilibré de celui du

berceau analogue, la pression circulaire a toujours pour expression Qr.

Quant au *volume du dôme*, établi d'après les conditions d'équilibre précédentes, on a pour une calotte sphérique dont le joint inférieur fait un angle α avec la verticale,

$$V = 2\pi\left[er^2 L.\frac{1}{\cos\alpha} - e^2 r\left(\frac{1}{\cos\alpha} - 1\right) + \frac{e^3}{6}\tang^2\alpha\right]. \quad (5)$$

Dans cette formule, L. est l'indice des logarithmes népériens; les divers coefficients variables en α se trouvent tout calculés, de degré en degré, dans la table de la page 637.

Lorsqu'on adopte pour inclinaison du joint extrême $\alpha = 60°$, ainsi que dans les berceaux droits, la formule (5) se réduit à la formule :

$$V = er^2 \times 4{,}355172 - e^2 r \times 6{,}283186 + e^3 \times 3{,}141593. \quad (6)$$

Si l'intrados était circulaire et l'extrados en péricycloïde, les expressions de volumes seraient encore les précédentes (5) et (6) ; seulement r serait le rayon de l'intrados, et les termes négatifs deviendraient positifs et seraient :

$$+ e^2 r\left(\frac{1}{\cos\alpha} - 1\right) \quad \text{et} \quad + e^2 r \times 6{,}283186.$$

Quand les courbes d'intrados et d'extrados sont des arcs de cercle, si le dôme est hémisphérique, son volume est égal au secteur sphérique du rayon d'extrados ; et, dans ce cas, les surfaces d'intrados et d'extrados ne sont autre chose que celles des zones sphériques.

Pieds-droits des dômes. — Les pieds-droits circulaires qui supportent les dômes ont reçu le nom de *tambours*.

Si le dôme se partageait en onglets, pour régler son établissement dans l'hypothèse la plus favorable, et que le tambour se partageât, suivant les mêmes plans méridiens, en autant de secteurs infiniment petits, chacun de ces derniers devrait être considéré comme le pied-droit d'une voûte circulaire représentée par un des onglets du dôme ; le profil du tambour serait celui du pied-droit de la voûte, comme le profil du dôme est celui de la voûte même.

Mais la poussée du dôme, suivant les rayons du cercle de base, sera toujours réduite par l'effet des résistances accessoires du frottement, de l'adhérence et de la dureté des matériaux ; cette poussée pourra même être annulée par des consolidations : application des ceintures en fer sur la surface extérieure ; cercle en fer plat goujonné ou simplement encastré dans toutes les faces horizontales d'un même rang de voussoirs ; attaches ordi-

naires d'une pierre à l'autre ; simples goujons en fer ou en chêne sec, de petite longueur, implantés avec mortier dans les joints verticaux de deux voussoirs consécutifs, de manière à former tenon entre eux ; enfin on peut rendre les voussoirs d'un même rang circulaire solidaires entre eux, au moyen d'un artifice quelconque d'appareil qui appliquerait à l'office voulu la résistance transverse des voussoirs. Lorsqu'un de ces moyens est appliqué, le tambour n'a plus qu'à soutenir le poids du dôme et son propre poids ; l'étude de son établissement se réduira à examiner si la base du tambour offre une résistance à l'écrasement qui réponde au poids cumulé de ce tambour même et du dôme.

Niches. — Une application fréquente des dômes est celle des niches sphériques, formées de la moitié d'un dôme, coupé suivant un plan méridien vertical ; ce plan est le plan de tête de la niche, dont l'extrados est ordinairement noyé dans un massif de maçonnerie.

La poussée totale que peut éprouver la tête d'une niche sphérique, dans une direction perpendiculaire à son plan, reste comprise entre $3,14Qr$ *et* $2Qr$, *r étant le rayon de la niche, et* Q *la poussée horizontale due à son profil d'équilibre, considéré comme appartenant à un berceau droit.* Cette poussée sera toujours atténuée par les résistances accessoires.

La combinaison la plus efficace pour assurer la stabilité d'un hémicycle, ou d'une niche de grande dimension, consiste à la prolonger par une voûte en berceau dont l'intrados est décrit du même rayon que la niche.

Si une niche, au lieu d'avoir un intrados sphérique, avait tout autre intrados en surface de révolution ou en surface courbe, on conclurait son établissement de celui du dôme dont elle dérive, conformément à ce qui a été exposé p. 646. Quant à l'établissement de leurs pieds-droits ou demi-tambours, il résulte de ce qui a été indiqué p. 650.

Voûtes en arc de cloître et voûtes d'arête. — Si un même espace quadrangulaire ABCD est recouvert, soit par une voûte en arc de cloître (*fig.* 393), soit par une voûte d'arête (*fig.* 394), dans le premier cas, l'une des surfaces cylindriques d'intrados, projetée en AOB, par exemple, aura ses génératrices parallèles à la face AB; les arêtes de rencontre AO, BO se profileront en creux, et le mur AB devra être conservé entier pour former pied-droit ; dans le second cas, la portion d'intrados cylindrique AOB aura ses génératrices perpendiculaires à la face AB, les arêtes de rencontre AO, BO se profileront en saillie, et le mur sera supprimé dans tout l'intervalle AB, les piliers AM, BN servant seuls de pieds-droits à la voûte sur la face AB. Les différences sont les mêmes dans les trois autres espaces triangulaires AOD, DOC, COB.

L'une ou l'autre de ces voûtes peut recouvrir un espace poly-

gonal autre qu'un rectangle. Dans le cas de la voûte en arc de cloître, le mur formant pied-droit est continu sur tout le contour du polygone ; dans le cas de la voûte d'arête, il reste seulement un pilier à chaque angle du polygone, et d'un pilier à l'autre règne une tête de berceau droit.

L'établissement de la voûte en arc de cloître sera analogue à celui du dôme, que l'on peut considérer comme une voûte en arc de cloître d'un nombre indéfini de côtés.

Supposons qu'une voûte en arc de cloître ayant pour base un polygone régulier (*fig.* 393), soit partagée par des plans verticaux, mais suivant ses arêtes, en autant d'onglets qu'il y a de côtés dans le polygone de base. Si l'on regarde l'adhérence et la résistance

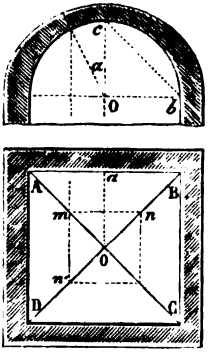


Fig. 393.

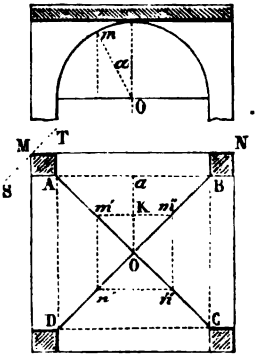


Fig. 394.

transverses des matériaux comme nulles, chacun de ces onglets devra se maintenir en équilibre séparément, et exercer, tant au sommet qu'à la base, une poussée horizontale totale G, qui soit constante sur un joint horizontal quelconque dudit onglet. Soit l la longueur AB d'un côté du polygone de base, Q la poussée horizontale qu'il supporte, rapportée à l'unité de longueur ; il faut que :

$$G = Ql.$$

De même, si l'on considère un joint quelconque mn, déterminé par le plan de joint qui fait un angle α avec la verticale, sa longueur est seulement $l \sin \alpha$, et la poussée horizontale q qu'il supporte, rapportée à l'unité de longueur, est telle que :

$$G = ql \sin \alpha, \qquad \text{d'où} \qquad q = \frac{Q}{\sin \alpha},$$

résultat conforme à la formule (1) (p. 646).

La voûte complète, résultant de la réunion de tous les onglets égaux à AOB, sera elle-même en équilibre, si chaque onglet a été établi suivant le profil d'équilibre du berceau droit de même intrados.

Si l'on enlevait la portion mOn dans chaque onglet, l'équilibre ne pourrait subsister, à moins que le joint mn ne fût rendu rigide.

Si R′ représente le rayon OA du cercle circonscrit, R le rayon Oa du cercle inscrit, ω le demi-angle au centre du polygone, on a $\cos \omega = \frac{R}{R'}$; conséquemment la poussée horizontale exercée suivant l'arête OA, par les deux joints mn, mn', qui s'y coupent en m, a pour valeur :

$$F = Ql \frac{R}{R'}. \qquad (1)$$

Il résulte de là que la pression t, supportée par chaque joint mn, mn', dans le sens de sa longueur, est :

$$t = F \frac{R'}{l}, \qquad \text{d'où} \qquad t = QR. \qquad (2)$$

Ainsi, quelle que soit la hauteur du joint horizontal à partir duquel on enlève la partie supérieure d'une voûte en arc de cloître : 1° la poussée horizontale qui s'établit suivant chaque arête est constante et ne dépend que du profil de la voûte et de la figure du polygone de base ; 2° la pression qui s'établit suivant chaque joint supérieur est constante aussi, et égale au produit du rayon du cercle inscrit au polygone de base par la poussée horizontale, résultant du profil d'équilibre de la voûte.

La stabilité des voûtes en arc de cloître peut s'établir par la poussée suivant les onglets que limitent les arêtes, ou par poussée suivant les joints horizontaux. Une ceinture étreignant la voûte suivant le contour du polygone de base, et dont la tension serait égale à Qr, suffirait pour annuler la poussée à chaque angle du pied-droit, mais pourvu que sur la longueur du côté du polygone chaque partie du pied-droit fût rigide; il faudrait donc, pour obtenir cette condition, et rendre la ceinture complètement efficace, que, d'un angle à l'autre du pied-droit, on prévînt la flexion de la maçonnerie au moyen d'une ferme en fer, posée horizontalement et reliée à ses deux extrémités avec les articulations de la ceinture.

Établissement des voûtes d'arête. — Les voûtes d'arête ne sauraient être, comme les voûtes en arc de cloître, partagées en secteurs qui doivent se maintenir séparément en équilibre. Ici, chaque portion de voûte ne peut se soutenir qu'en s'appuyant sur les deux portions voisines, comme un berceau sur ses culées ; la poussée se trouve composée dans le sens de la longueur de

chaque arête, et transmise intégralement à chaque pilier, dans le sens de la diagonale de sa base.

Considérons une voûte d'arête projetée sur un carré ABCD (*fig.* 394), et dont l'intrados est décrit d'un rayon r égal à la demi-longueur d'un côté. Supposons que le profil des quatre berceaux droits tronqués AOB, BOC, etc., soit celui d'équilibre ; le berceau AOB exercera, tant en m' qu'en m'', et dans le sens de la ligne $m'm''$, une certaine poussée horizontale Q, rapportée à l'unité de longueur, et qu'on sait calculer. La poussée Q, comme l'on sait, est constante, quelle que soit la position des points m', m'' correspondant à un joint quelconque m de l'intrados. Pour toute l'étendue du berceau tronqué AOB, la poussée horizontale sera donc Qr, attendu que $Oa = Aa = r$. L'arête AO recevra toute cette poussée, laquelle sera distribuée uniformément sur la longueur AO et dirigée parallèlement à AB ; mais la même arête AO recevra du berceau tronqué AOD une poussée horizontale d'égale intensité Qr, et dirigée parallèlement à AD. Conséquemment, on aura, pour la *poussée horizontale totale t, dans le sens d'une arête*,

$$t = Qr\sqrt{2}. \qquad (1)$$

Connaissant le poids total MW de la voûte, d'où celui $\frac{MW}{4}$ que supporte chaque pilier, et la poussée horizontale t appliquée au sommet du pilier, on fera facilement son établissement au moyen des formules (p. 612). On remarquera seulement qu'ici le pilier est sollicité suivant sa diagonale OM et tend à se renverser en tournant autour d'une ligne ST perpendiculaire à OM.

Quelle que soit la disposition d'une voûte d'arête, elle n'exerce aucune poussée sur ses têtes ; mais la poussée de ses piliers ne saurait être annulée que par des tirants établis soit d'une naissance à l'autre sur chaque tête, soit suivant la diagonale commune de deux piliers opposés. Les voûtes d'arête offrent peu d'avantages sous le rapport de l'économie et ne sont guère usitées. Il y a exception, en faveur des voûtes *à l'impériale*, construites légèrement avec des briques à crochet et du plâtre. On peut construire ces voûtes avec des briques de Bourgogne, ou des briquettes de $0^m,03$ d'épaisseur, posées avec du mortier de ciment ; la prise instantanée et la force de cohésion de ce mortier annulent la poussée.

Mesurage des voûtes en arc de cloître et des voûtes d'arête. Lorsque ces voûtes ont un intrados circulaire, et que l'extrados est limité par la courbe péricycloïde, on obtient leur volume en suivant la même marche que pour les voûtes en dômes. Pour les voûtes en arc de cloître, si R désigne le rayon du cercle inscrit, r le rayon d'intrados, e l'épaisseur à la clef, l le côté du polygone,

et n le nombre des onglets qui composent la voûte, on a, pour le volume de la voûte, jusqu'au joint qui fait un angle quelconque α avec la verticale,

$$V = \frac{nl}{R}\left[er^2 L.\frac{1}{\cos\alpha} + e^2 r\left(\frac{1}{\cos\alpha} - 1\right) + \frac{e^3}{6}\tang^2\alpha\right].$$

Cette formule est conforme à celle (p. 650) pour le cas de l'intrados circulaire, si ce n'est que le facteur $\frac{nl}{R}$ remplace le facteur 2π, soit $\frac{2\pi r}{r}$, ou, en d'autres termes, que le contour du polygone remplace le contour du cercle.

Quand la voûte se projette sur un carré dont le côté est $2r$, et que d'ailleurs le joint extrême correspond à $\alpha = 60°$, la formule précédente se réduit à :

$$V = er^2 \times 5{,}545176 + e^2 r \times 8 + e^3 \times 4.$$

Quant au volume des voûtes d'arête, voici comment on pourra l'obtenir :

Considérant, dans le berceau tronqué AOB (*fig.* 394), une section faite suivant le plan vertical quelconque $m'm''$, qui répond à l'angle de joint α, et désignant par u la superficie variable de cette section, par V le volume d'un des quarts de la voûte, par e l'épaisseur à la clef, et par r le rayon d'intrados, on a :

$$u = erL.\frac{1 + \sin\alpha}{1 - \sin\alpha} + e^2 \tang\alpha. \qquad (1)$$

Le volume d'une voûte d'arête à intrados circulaire et projetée sur un carré, jusqu'au joint qui fait l'angle α avec la verticale, est :

$$4V = 4er\left[r\sin\alpha L.\frac{1+\sin\alpha}{1-\sin\alpha} - 2rL.\frac{1}{\cos\alpha} + e(1-\cos\alpha)\right], \qquad (2)$$

ou, *quand le joint extrême correspond* à $\alpha = 60°$,

$$4V = er^2 \times 3{,}578968 + e^2 r \times 2{,}00. \qquad (3)$$

Dans le même cas de $\alpha = 60°$, les valeurs de u, formule (1), sont données par la formule pratique :

$$u = er \times 2{,}633913 + e^2 \times 1{,}732050. \qquad (4)$$

On pourra conclure des formules précédentes le volume jusqu'au joint extrême, y compris les parties de berceau droit qui règnent dans la longueur et dans la largeur des pieds-droits; on y ajoutera le volume des parties inférieures formant culées, et l'on arrivera ainsi au volume total jusqu'aux naissances. Les

coefficients en α sont donnés calculés dans la table de la page 637.

Soit (*fig.* 373) un espace ABCD couvert par une voûte en berceau ayant pour naissance AB, DC. Les plans verticaux menés suivant les diagonales AC, BD, diviseront le berceau en deux pans OAB et OCD d'une voûte d'arc de cloître de même intrados que le berceau, et en deux lunettes OBC et ODA d'une voûte d'arête également de même intrados que le berceau. Un second berceau ayant pour naissances AD, BC serait divisé de la même manière. La surface de deux voûtes en berceau, en plein cintre ou surbaissées, est la somme des surfaces de deux voûtes de même courbe d'intrados et de même plan de projection, l'une en arc de cloître et l'autre d'arête; le volume des berceaux est aussi la somme des volumes de ces voûtes.

Pour obtenir la superficie d'une voûte d'arête plein cintre sur plan carré, *on multiplie celle de son plan de projection par* 1 + 1/7; ou bien *on ôte la longueur du diamètre de celle de la demi-circonférence, on prend le quart du reste, on ajoute ce quart au même diamètre, et on multiplie la somme par la longueur de la voûte.* Dans ces deux cas il reste à multiplier la superficie moyenne de l'extrados et de l'intrados par l'épaisseur de la voûte pour en avoir le cube sans les reins.

Soit à déterminer le volume d'une voûte d'arête, sur plan carré, de 4 mètres de diamètre moyen, pris au milieu de l'épaisseur de la voûte et de $0^m,40$ d'épaisseur.

Suivant la première règle, on a :

$$(4,00 \times 4,00) \times (1 + 1/7) + 18^{m2},29.$$

Suivant la deuxième règle :

$$\left(\frac{2 \times 3,141 - 4,00}{4} + 4,08\right) \times 4,00 = 18^{m2},29.$$

Si l'on multiplie cette superficie par $0^m,40$ d'épaisseur, on a, pour le volume cherché,

$$18,29 \times 0,40 = 7^{m3},316.$$

Pour avoir la surface des voûtes en arc de cloître sur plan carré et à intrados demi-circulaire, on ajoute à la demi-circonférence d'intrados de la voûte les 3/4 *de la différence entre cette demi-circonférence et son diamètre, et l'on multiplie cette somme par la longueur de la voûte;* ou bien, *on multiplie le plan de projection de la voûte par* 2; on obtient aussi cette surface *en multipliant par* 4 *le carré de la ligne oblique bc* (*fig.* 393), *menée de la naissance au centre de la clef;* ou bien encore, *en élevant au carré la diagonale* AC *du plan de projection.*

Le volume de ces voûtes s'obtient *en multipliant la moyenne des surfaces de l'intrados et de l'extrados par l'épaisseur de la voûte.*

Pour avoir la surface des voûtes d'arête ou d'arc de cloître surbaissées ou surhaussées, sur plans rectangulaires ou polygonaux dont le rapport de la surface à la projection est indéterminé, on fait le rabattement, ou la planification de cette surface à l'aide d'une épure à grande échelle, et l'on évalue ce rabattement.

Supposons (*fig.* 395) un espace rectangulaire ABCD, recouvert par un berceau ayant AB, DC pour naissances, et la courbe BGC pour directrice d'intrados. Coupant ce berceau par les plans verticaux passant par AC et BD, OAB sera un des plans de la voûte en arc de cloître qui recouvrirait l'espace ABCD, et OBC serait une des lunettes de la voûte d'arête qui recouvrirait le même espace. L'épure donne à la fois le développement d'un pan de voûte en arc de cloître et celui d'une lunette de voûte d'arête.

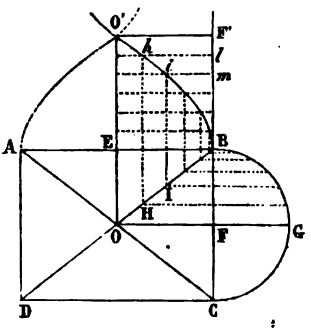


Fig. 395.

Pour simplifier, on ne développe que la moitié OBE du pan de voûte en arc de cloître, et la moitié OBF de la lunette de voûte d'arête.

On prend la droite BF égale au développement de la courbe BC ; on divise ces lignes en un même nombre de parties égales (en prenant un nombre pair lorsqu'on veut faire usage de la formule de Thomas Simpson) ; par les points de division, on trace des parallèles à AB, et par les points O, H, I, etc., on en mène à BC. Traçant alors une courbe BO', passant par les nouveaux points obtenus O, *h*, *i*..., B, elle est le rabattement de l'arête rentrante OB de la voûte en arc de cloître et de la même arête saillante de la voûte d'arête; BEO'F' est la planification de la portion OFBE de berceau, BO'F' est celle de la demi-lunette OBF, et BEO' celle du demi-pan OBE.

Il ne reste donc plus qu'à évaluer les surfaces BG'F et BEO'.

Le nombre des divisions de BG ayant été pris assez grand pour que les parties de courbe O'*h*, *hi*, etc., soient sensiblement droites, la surface BO'F' pourra être considérée comme composée de trapèzes et d'un triangle, et représentant par :

S, cette surface BO'F' ;
L, la longueur de BF' ou de BG ;
y_0, y_1, y_2, y_n, les ordonnées F'O', *lh*,..., et celle menée en B, qui est nulle ;
n, le nombre des divisions de BF' ;

on a :

$$S = \frac{L}{n}\left(\frac{y_0}{2} + y_1 + y_2 + \dots \frac{y_n}{2}\right).$$

Pour BG = BF' = $3^m,00$, $n = 6$, $y_0 = 2^m,65$, $y_1 = 1^m,80$, $y_2 = 1^m,25$, $y_3 = 0^m,70$, $y_4 = 0^m,32$, $y_5 = 0^m,11$ et $y_6 = 0$, il vient :

$$S = \frac{3}{6}\left(\frac{2,65}{2} + 1,80 + 1,25 + 0,70 + 0,32 + 0,11 + \frac{0}{2}\right) = 2^{m^2},75.$$

Thomas Simpson a trouvé une formule qui donne plus approximativement l'aire d'une surface telle que BO'F' ; n étant toujours un nombre pair :

$$S = \frac{L}{3n}[y_0 + y_n + 4(y_1 + y_3 + y_5 + \dots y_{n-1}) + 2(y_2 + y_4 + y_6 + \dots y_{n-2})].$$

Pour les valeurs numériques ci-dessus cette formule donne :

$$S = \frac{3}{3 \times 6}[2,65 + 0 + 4(1,80 + 0,70 + 0,11) + 2(1,25 + 0,32)] = 2^{m^2},70.$$

On calculerait de même, par l'une ou l'autre des deux formules précédentes, la surface BEO', c'est-à-dire la surface de la moitié du pan d'arc de cloître OBE, et, comme vérification, cette surface, ajoutée à celle BO'F', doit donner la surface rectangulaire BEO'F', c'est-à-dire la surface de la portion du berceau OFBE.

D'après Dufaud, supposant un parallélipipède rectangle dont les dimensions de la base sont $2a$ et $2b$, et dont la hauteur est c, si sur ses quatre faces latérales on décrit quatre demi-ellipses ayant pour axes horizontaux les côtés correspondants $2a$ et $2b$ de sa base inférieure, et pour demi-axes verticaux sa hauteur c, considérant ces quatre demi-ellipses comme étant les bases de cylindres droits, ces cylindres détacheront une fraction du parallélipipède, et ce qui restera sera le massif surmontant une voûte d'arête. Ce massif, limité en haut par la base supérieure du parallélipipède, c'est-à-dire par le plan horizontal tangent à l'intrados de la voûte, et latéralement par les faces latérales du parallélipipède, qui limitent l'intérieur de la voûte, a pour volume :

$$v = abc\left(\frac{20}{3} - 2\pi\right). \qquad (1)$$

Si les quatre demi-ellipses sont considérées comme étant les bases de cylindres droits qui se pénètrent, et qu'on ne conserve de chacun de ces cylindres que la portion qui serait enlevée par l'autre si l'on voulait obtenir une voûte d'arête, il reste le massif d'une voûte en arc de cloître, dont le volume est :

$$v' = abc \times \frac{4}{3}. \qquad (2)$$

La somme des deux voûtes en berceau élevées sur un même plan est égale, en surface et en volume, à la somme d'une voûte d'arête et d'une voûte en arc de cloître de mêmes directrices d'intrados. Remarquant que le volume de chaque berceau est égal au volume du parallélipipède, moins celui du vide correspondant, la somme des volumes des deux berceaux est:

$$V = 2 \times 2a \times 2b \times c - \frac{\pi ac}{2} \times 2b - \frac{\pi bc}{2} \times 2a$$
$$= 8abc - 2\pi abc = abc\,(8 - 2\pi),$$

et les deux formules (1) et (2) donnent bien :

$$v + v' = abc\left(\frac{20}{3} + \frac{4}{3} - 2\pi\right) = abc(8 - 2\pi) = V.$$

Pour $2a = 2^m,00$, $2b = 2^m,00$ et $c = 1^m,00$, par exemple ; ce qui suppose des voûtes profilées en plein cintre et couvrant intérieurement un espace carré de $2^m,00$ de côté, la formule (1) donne pour le massif de la voûte d'arête :

$$v = \frac{20}{3} - 2 \times 3,1416 = 0^{m3},384,$$

et celle (2) donne le massif de la voûte en arc de cloître :

$$v' = \frac{4}{3} = 1^{m3},333.$$

On a alors :

$$V = 0,384 + 1,333 = 1^{m3},717.$$

Augmentant le volume v ou celui v' du volume de la maçonnerie, surmontant le plan horizontal tangent à l'intrados de ceux des parties latérales situées en dehors de l'intérieur de la voûte, volumes faciles à évaluer, on aura le volume total de la voûte d'arête dans le premier cas, et celui de la voûte en arc de cloître dans le second.

Voûtes biaises

Il peut arriver que les faces de la pierre doivent être taillées suivant des faces courbes ; pour que la taille n'offre pas trop de difficultés, ces surfaces doivent être *réglées*, c'est-à-dire engendrées par le mouvement d'une droite ; et, si c'est possible, ces surfaces réglées doivent être *développables*, c'est-à-dire pouvoir se développer sur un plan, ce qui exige que les positions successives de la génératrice soient deux à deux dans un même plan. Pour

qu'une pierre offre le plus d'uniformité, chaque face doit être perpendiculaire aux faces adjacentes : un angle aigu est plus sujet à s'écorner ou s'écraser qu'un angle droit, et surtout qu'un angle obtus. Une pierre stratifiée offrant la plus grande résistance dans le sens normal à ses lits de carrière, ces lits doivent être disposés normalement à l'effort qui sollicite la pierre.

Dans un mur vertical, une pierre n'étant soumise qu'au poids de la partie de construction qui la surmonte, ses joints d'assises doivent être horizontaux, les joints montants verticaux, et les faces apparentes normales à tous ces joints, si le mur n'a pas de fruit.

Dans une voûte cylindrique, la pression d'un voussoir sur le voussoir inférieur est dirigée suivant la tangente à la courbe des pressions (p. 624), et, en supposant qu'en tous les points du joint les pressions soient parallèles à cette tangente, le joint doit être plan et normal à cette tangente. Lorsque la voûte est abandonnée à elle-même, parmi les lignes que l'on peut tracer sur la douelle, il y en a une qui est plus comprimée que les autres et une qui l'est au minimum. Le plus grand effort se produit tangentiellement à la première, et le plus petit tangentiellement à la seconde. La première courbe étant celle de plus grande courbure, elle est déterminée par la section droite de la voûte; la seconde courbe étant celle de plus petite courbure, elle n'est autre qu'une génératrice de la douelle. Les joints qui divisent les assises en voussoirs doivent être engendrés par une droite qui se meut sur la section droite, en restant normale à cette courbe ou mieux à la douelle de la voûte ; ses positions sont dans le plan de la section droite, et les joints discontinus sont plans. Chaque joint continu est engendré par une droite se mouvant en restant normale à la voûte et en s'appuyant sur une génératrice ; ces joints sont donc encore plans et, de plus, normaux aux joints discontinus. La voûte étant extradossée parallèlement, chaque face d'un voussoir est normale aux faces adjacentes; les faces en douelle et en extrados sont des surfaces développables, les autres sont planes, et toutes sont faciles à tailler. Ces considérations, appliquées à un mur vertical, conduisent, comme ci-dessus, à placer horizontalement les joints continus et verticalement les joints discontinus.

Voûtes biaises. — Poussée au vide. — Soit ABCD (*fig.* 396) le plan des naissances d'une voûte droite indéfinie ; la portion de voûte droite limitée à deux plans verticaux AB, CD, inclinés sur l'axe *aa'* de la voûte, prend le nom de *voûte biaise*. Les plans de têtes AB, CD sont parallèles à l'axe *bb'* de l'artère supportée par la voûte, et l'on nomme *angle du biais* l'angle β formé par l'axe *bb'* avec l'axe *aa'* de la voûte, ou de la voie ou du cours d'eau qui passe sous le pont.

En considérant l'ensemble de la voûte biaise, les lignes de plus grande et de plus petite courbure, c'est-à-dire de plus grande et de plus petite compression, qu'on peut tracer sur la douelle, sont encore les sections droites A'B, A"B', .., et les génératrices, et, en prenant ces lignes pour directrices des joints, on est conduit à appareiller la voûte biaise comme une voûte droite.

Mais, si l'on considère la voûte comme étant composée d'une partie centrale A"B'CD", et de deux parties extrêmes ABB'A" et DCC'D", la première sera une voûte droite, laquelle, reposant sur des culées uniformes dans toute leur étendue, se trouvera dans les conditions les plus favorables de tassement et de solidité; et, considérée isolément, elle devrait être appareillée suivant les sections droites et les génératrices; mais, la partie ABA' ne reposant sur la culée que par une arête B de joint, sa poussée suivant le joint A'B, dite *poussée au vide* parce qu'elle tend à jeter la partie ABA' en dehors de la tête de voûte, ne sera détruite que par l'adhérence ou la cohésion du mortier, et par l'enchevêtrement des voussoirs, qui la reporteront sur la culée. La portion de voûte A'BB'A" ne reposant que sur la partie triangulaire BB'B" de la culée, ce triangle se comprimera plus que le restant de la culée; et, s'il n'y a pas disjonction suivant A"B", c'est qu'une partie de la poussée de A'B'B'A" se reportera au-delà du plan A"B". Ainsi, suivant A"B", la poussée au vide se composera d'une partie de la poussée de A'BB'A" et de la poussée totale de ABA'. C'est donc suivant A"B" que la poussée au vide est maximum ; aussi est-ce vers cette ligne, du côté de l'angle aigu B, qu'on a vu des voûtes biaises se lézarder suivant la section droite.

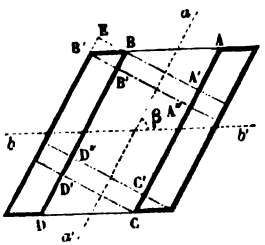


Fig. 396.

Les considérations précédentes, qui établissent le défaut de solidité de l'angle aigu B de la culée, s'appliquent aussi à l'angle aigu de chaque voussoir de tête.

Pour supprimer la *poussée au vide* de la partie A'BB'A", on a quelquefois prolongé la culée jusqu'à BE; pour n'avoir pas à s'occuper du biais, on a aussi quelquefois fait les têtes normales à *aa'*.

Dans quelques cas, pour reporter la poussée au vide sur les culées, on a fait usage de tirants en fer, dont l'effet s'ajoute à celui du mortier et de l'enchevêtrement des voussoirs.

Biais passé ou corne de vache. — *Méthode Hachette.* — (Le plan des naissances est le plan horizontal de projection, et l'un des plans de têtes est le plan vertical.) On prend pour douelle de la voûte une portion de surface cylindrique dont la section par

les plans de têtes sont des demi-circonférences. On fait par le centre O de la voûte une section de la douelle par un plan parallèle aux têtes. Sur cette section, représentée en plan par EF et en élévation par la demi-circonférence *emf*, on établit la division en voussoirs, et par les points de division et le centre O, menant des plans perpendiculaires aux plans de têtes, les sections de la voûte par ces plans déterminent les joints continus; on divise ensuite les assises en voussoirs par des plans parallèles aux têtes.

O*a* est la trace horizontale de tous les plans de joints, dont les traces verticales passent toutes au point *o*. Ces plans de joints coupent la douelle suivant des arcs d'ellipse ; l'un de ces arcs se projette verticalement suivant la droite *nki* et horizontalement suivant la courbe NKI.

Deuxième méthode Hachette. — Elle consiste à substituer à la surface cylindrique formant la douelle une surface engendrée par une droite qui se meut, en s'appuyant sur les demi-circonférences des têtes et sur la droite O*o*, menée par le centre O de la voûte, perpendiculairement aux plans de têtes. Il en résulte que O*o* étant, comme dans l'appareil précédent, l'axe des plans des joints, chacun de ces plans coupe la douelle suivant une génératrice qui passe par les extrémités de l'arc d'ellipse qui déterminait le joint dans la première méthode.

Du point *o*, comme centre, avec un rayon quelconque, décrivant une demi-circonférence, divisant cette demi-circonférence en autant de parties égales que l'on veut avoir de voussoirs, et joignant le point *o* aux points de division, les lignes qui en résultent sont les traces verticales des plans de joints. Les droites *ni* et NI sont les projections de l'intersection de la douelle par un plan de joint.

Le point *m*, où les projections verticales des demi-circonférences de têtes se rencontrent, est la projection verticale d'une génératrice de la douelle, et cette génératrice étant horizontale, il en résulte que la projection verticale de toute section faite dans la douelle par un plan tel que OK, parallèle aux têtes, passera par le point *m*. La détermination de la projection verticale *k* du point K montre qu'il est très facile de construire ces sections par points.

Plus l'angle du biais augmente, ainsi que le rapport de la longueur à l'ouverture de la voûte :

1° Plus les voussoirs de têtes sont inégaux ;

2° Plus les intersections des têtes par les plans de joints s'éloignent de la normale à l'intrados, et plus quelques angles des voussoirs deviennent aigus et susceptibles d'éclater par l'effet des mouvements qui se produisent au décintrement;

3° Plus, dans l'appareil (*fig.* 398), le renflement au centre de

la douelle, par suite de la position horizontale de la génératrice projetée en *m*, paraît sensible;

4° Plus l'extrémité *n* du premier joint se rapproche du plan des naissances, et l'on conçoit qu'il arrive une limite où un et même plusieurs joints viennent rencontrer le plan des naissances dans les culées; cette rencontre peut même avoir lieu pour le joint de

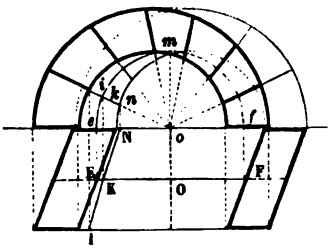


Fig. 397.

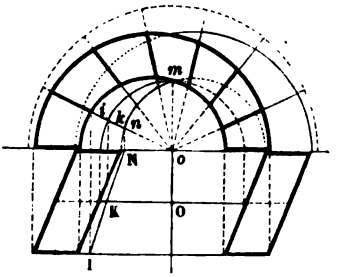


Fig. 398.

rupture, lequel, se trouvant appareillé en crémaillère, reporte la poussée suivant la section droite de la voûte.

Ce biais passé n'est guère employé que pour voûtes de peu de longueur, telles que celles de portes biaises.

Division d'une voûte biaise en zones. — Supposons qu'après avoir élevé la voûte jusqu'au joint de rupture, c'est-à-dire jusque vers l'angle de 30° avec l'horizontale, on établisse le surplus par zones indépendantes, séparées par des intervalles *ab*, *cd*,..., qu'on ne remplit qu'après le décintrement. Dans chaque zone la plus grande contraction se produisant suivant la ligne de plus grande courbure, ce sera suivant les courbes ayant pour projections les diagonales *sb*, *ad*... Comme ces courbes diffèrent d'autant moins des courbes de têtes que les zones ont moins de largeur, en réduisant cette largeur, on diminuera les chances de lézardes. Après le décintrement, les intervalles des zones se remplissent en plaçant d'abord les moellons formant douelle, les contractions étant à peu près identiques dans toute la longueur de la voûte, les lézardes *ik*, qui se produisent souvent suivant la section droite de la voûte, du côté des angles aigus des pieds-droits, sont moins à redouter.

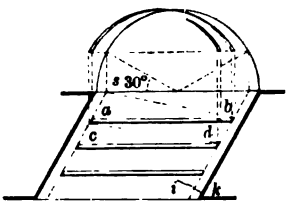


Fig. 399.

L'idée de partager la voûte en zones est due à E. Clapeyron.

Voûtes biaises formées d'une série de voûtes droites. — Pour

reporter la poussée parallèlement aux plans de têtes, M. Hurel a proposé de remplacer le cylindre biais par une suite de voûtes droites *ab*, *cd*, ..., perpendiculaires aux plans de têtes.

Boucher, dans un pont biais établi à Chartres, pour supporter le chemin de fer, au lieu d'accoler les voûtes partielles *a'b'*, *c'd'*, ..., les a séparées par un intervalle *mn* rempli d'une voûte d'une faible épaisseur. L'angle du biais est de 36°, et le passage a 9 mètres de largeur. Les voûtes, qui sont un peu en reculement sur les pieds-droits, sont en anse de panier à cinq centres, de 16m,20 d'ouverture et de 5 mètres de flèche. Il y a six voûtes partielles, une sous chaque tête et chaque ligne de rails; leur largeur est de 0m,80 et leur intervalle est de 0m,70; pour les deux voûtes du milieu, l'intervalle qui correspond à l'entrevoie est 1m,06 au lieu de 0m,70 (*fig.* 400).

Les voûtes ont 1 mètre d'épaisseur; leurs arcs de tête présentent aux extrémités du pont une archivolte d'une épaisseur uniforme de 1 mètre; intérieurement, ils sont appareillés par carreaux et boutisses de 0m,90 et 1m,10 de queue, et prolongés par des parements en meulières dont les joints continuent la coupe des voussoirs.

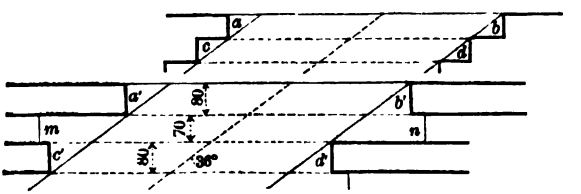


Fig. 400.

Les voûtes complémentaires ont 0m,50 d'épaisseur dans toute leur étendue; elles établissent une liaison entre les parties de la construction, au moyen de quelques voussoirs en pierre de taille ou en libages faisant harpe de 0m,15 à 0m,20 dans les voûtes principales voisines.

Les extrados de toutes les voûtes sont à la même hauteur à la clef; d'où il résulte qu'en ce point les intrados des voûtes principales sont de 0m,50 en contre-bas des intrados des voûtes de remplissage. La surface gauche continue, qui doit recevoir la chape, s'obtient à l'aide de quelques remplissages en maçonnerie, faits dans les angles rentrants que présentent les extrados des différentes voûtes partielles.

Appareil orthogonal parallèle. — Supposons que la voûte soit divisée en zones par des plans EF, GH, ..., parallèles aux têtes (*fig.* 401), et qu'on ait tracé sur la douelle des courbes continues, telles que IK, appelées trajectoires orthogonales, perpendiculaires

aux différentes sections déterminées par les plans AB, EF, GH, ... En prenant pour génératrice des joints une droite qui se meut en restant normale à la douelle, et en s'appuyant sur les trajectoires pour les joints continus d'assises et sur les sections EF, GH, ..., pour les joints discontinus, on conçoit que les plans EF, GH, ..., étant supposés infiniment rapprochés, on pourra considérer chaque zone comme une petite voûte droite.

Tracé géométrique des projections, rabattements et développements des différentes lignes d'appareils visibles sur la douelle. — Le plan des naissances est pris pour plan horizontal de projection, et le plan de tête AB pour plan vertical. Les développements sont faits sur le plan horizontal, en opérant les mouvements autour de l'arête AC de naissance (*fig.* 401).

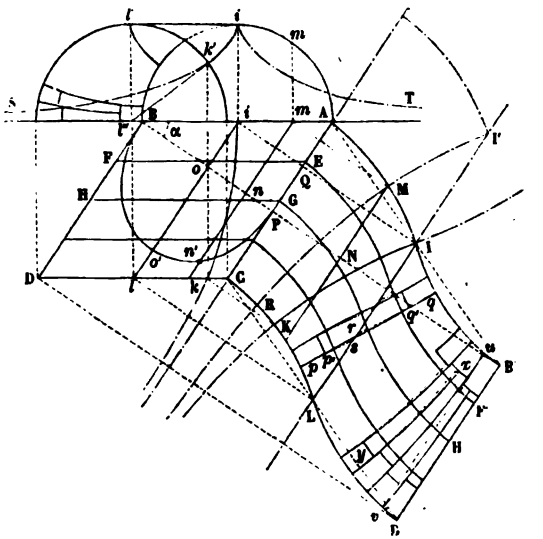


Fig. 401.

Du point quelconque i', appartenant à la courbe de tête, abaissant la perpendiculaire $i'i$ à AB, la parallèle il à AC est la projection horizontale de la génératrice passant par le point I de la douelle.

Prenant $oo' = ii''$, le point o' appartient au rabattement $Po'B$ de la section droite BP; on peut donc construire ce rabattement par points.

Dans le développement de la douelle sur le plan des naissances, le point B vient au point B', extrémité de la perpendiculaire PB', qui est égale au développement de l'arc $Po'B$. La génératrice BD

prend la position B'D', en restant égale et parallèle à AC. Le rabattement IL d'une autre génératrice quelconque s'obtient comme celui de BD; il suffit de prendre QI = arc Po'.

Le point I appartient au développement AIB' de l'arc de tête Ai'B ; on peut donc tracer ce développement par points. La courbe CLD' se trace en suivant la même marche que pour AIB' ; mais, si cette dernière est décrite, on obtient un point quelconque L, en menant IL égal et parallèle à la génératrice AC.

La forme des courbes AB' et CD' leur a fait donner le nom de *sinusoïde ;* ce sont du reste des courbes de l'espèce sinusoïde.

Toute section EF, parallèle aux têtes, se développe suivant une courbe EF' égale à AIB', et deux courbes quelconques interceptent la même longueur sur toutes les génératrices.

Pour tracer une trajectoire, par exemple celle qui part du point I, on opère par tâtonnement, en cherchant la courbe continue IK, qui paraît rencontrer normalement toutes les courbes AB', EF'... Le développement de la trajectoire étant arrêté, pour avoir sa projection horizontale, on détermine les projections horizontales des points de rencontre de IK avec les courbes AB', EF' ... Pour avoir, par exemple, celle *i* du point I, il suffit de mener par I une perpendiculaire à AC, et de la prolonger jusqu'à la trace AB de la section qui fournit la courbe AB'. La courbe *ik*, qui joint les points obtenus, est la projection horizontale de IK. Pour tracer la projection verticale de la trajectoire, on opère encore par points. Ainsi le point *i'*, rencontre de la perpendiculaire *ii'* à AB et de la projection verticale Ai'B de la courbe déterminée par la section AB, est la projection verticale du point I.

Nous verrons ci-après que le développement IK de la trajectoire qui passe par le sommet I de la voûte a pour asymptotes AC d'un côté et D'B' de l'autre ; que les développements de toutes les autres trajectoires sont tangents à AC et à D'B' ; que, convenablement prolongés, tous ces développements peuvent coïncider entre eux et avec IK prolongé ; enfin, que si l'on établit un *pistolet* ou *patron*, limité par CAIK, et convenablement prolongé au-delà de CK, en faisant glisser ce pistolet le long de AC, son arête IK s'appliquera successivement sur toutes les trajectoires et portions de trajectoires comprises sur le demi-développement AILC, et permettra de les tracer. Ainsi, lorsque le sommet du pistolet sera en I', son arête IK coïncidera avec la trajectoire I'MR.

Comme les deux côtés de la voûte sont identiques, en retournant le patron bout pour bout, de manière à faire coïncider AL avec D'L', AC coïncidera avec D'B', et en faisant glisser le patron le long de D'B', on pourra terminer les trajectoires qui coupent IL et qui ne sont encore tracées qu'à gauche de IL, et décrire toutes celles qui coupent LD'.

AC et DB sont aussi les asymptotes de la projection horizontale

ik de la trajectoire IK qui passe par le sommet I; toutes les projections horizontales des autres trajectoires sont aussi tangentes à AC et à DB; et en taillant un patron CA*ik* convenablement prolongé au-delà de C*k*, en le faisant glisser le long de AC, on tracera les projections horizontales des trajectoires et portions de trajectoires comprises à droite de la génératrice milieu *il*. En retournant le patron bout pour bout, en faisant glisser son arête le long de DB, on terminera le tracé des projections horizontales des trajectoires sur l'autre moitié de la voûte.

Enfin AB est encore, dans les deux sens, asymptote de la projection verticale S*i*'T de la trajectoire IK; les projections verticales de toutes les autres trajectoires sont aussi tangentes à AB dans les sens; et en faisant glisser le long de AB un patron B*ii*'S, on tracera toutes les projections, telles que *k'i'* situées à droite de la génératrice *l'i'*. En retournant le patron pour lui donner la position A*ii*'T, et en le faisant glisser le long de AB, on tracera les projections situées à gauche de *i'l'*. Quand la courbe de tête est une demi-circonférence, la tangente en un point quelconque *k'* de la projection verticale d'une trajectoire est la droite *k'l'*, qui joint le point *k'* au centre *l'* de la projection verticale de la section parallèle aux têtes qui fournit *k'*. Au point *i'*, *ii'* est tangente à *i'*S et à *i'*T. Le tracé des projections verticales des trajectoires dépendant de celui des projections horizontales, et celui-ci du tracé des développements, cette propriété des tangentes aux projections verticales des trajectoires est précieuse pour rectifier les erreurs des tracés.

Si la section droite était circulaire, les têtes seraient elliptiques; mais les tracés précédents s'effectueraient en suivant la même marche.

Après avoir divisé les arcs de têtes AB' et CD' en voussoirs, ce que l'on facilite en remarquant que, pour avoir les points de division d'une tête quand on a ceux de l'autre, il suffit de mener par ceux-ci des génératrices ou des parallèles *uv* à AC, on trace, au moyen du patron, toutes les trajectoires par les points de division. Mais il arrive, comme les points de départ des trajectoires sont déterminés sur les têtes, que ces courbes ne se raccordent pas sur la génératrice IL du sommet; c'est ce qu'on voit sur la figure 401 pour *ps* et *qr*. Alors on conserve les trajectoires sur toute l'étendue des voussoirs de têtes, et, à partir des joints *p'* et *q'*, on les raccorde par une courbe, figurée pleine sur la figure 401. Les trajectoires qui rencontrent IL ayant un point d'inflexion sur cette génératrice, cette considération peut guider pour tracer le raccord *p'q'*, ce que l'on fait du reste avec le patron comme pistolet. Les trajectoires qui ne rencontrent pas IL ne se raccordent pas non plus; alors on ne les conserve rigoureusement que dans l'étendue des voussoirs de têtes, et entre ces limites on les raccorde

par des courbes que l'on trace avec le patron ; ces courbes sont figurées en lignes pleines pour les voussoirs y et x.

C'est des trajectoires rectifiées qu'il faut ensuite déterminer les projections horizontales et verticales, en opérant par points, pour compléter l'épure. Il est inutile de tailler des patrons pour tracer les projections des trajectoires orthogonales.

Comme les trajectoires vont en se rapprochant depuis chaque angle obtus A ou D' jusqu'à l'angle aigu C ou B', il en résulte que vers les naissances chaque voussoir de tête de l'angle aigu correspond à deux voussoirs de l'angle obtus.

Près des angles obtus, les moellons ayant une grande hauteur d'assise, on peut les composer de deux moellons. Il est préférable de remplacer, du côté des angles obtus, les moellons piqués par des libages.

Les voussoirs de têtes sont limités par des courbes EF', tracées avec le patron ; dans la pratique, les assises en moellons sont divisées en voussoirs par des lignes droites, tracées avec l'un des côtés d'une équerre, dont l'autre côté coïncide avec l'élément de trajectoire correspondant à la longueur du moellon.

Calcul. — La longueur l d'une demi-ellipse, dont a et b sont le demi-grand axe et le demi-petit axe, étant

$$l = \pi a \left[1 - \left(\frac{1}{2} e\right)^2 - \frac{1}{3}\left(\frac{1.3}{2.4} e^2\right)^2 - \frac{1}{5}\left(\frac{1.3.5}{2.4.6} e^3\right)^2 - \ldots \right], \quad \text{(A)}$$

formule dans laquelle

$$e = \sqrt{\frac{a^2 - b^2}{a^2}},$$

et qui devient quand $a = b = r$, c'est-à-dire quand la demi-ellipse est une demi-circonférence,

$$l = \pi r,$$

on a (*fig.* 401) :

1° Quand les têtes sont circulaires :

$$\text{Courbe AIB}' = \pi r,$$
$$\text{et PB}' = l;$$

l ayant la valeur (A), dans laquelle, comme le montre la figure 401,

$$a = oo' = r, \quad \text{et} \quad b = \text{B}o = \text{B}i \cos \alpha = r \cos \alpha;$$

α, angle que forme la section droite avec le plan de tête ; α est le complément de l'angle β du biais.

2° Quand la section droite est circulaire et de rayon r :

$$\text{AIB}' = \text{valeur (A)}, \quad \text{et} \quad \text{PB}' = \pi r.$$

Dans cette valeur (A), comme le montre la figure 401,

$$a = \mathrm{B}i = \frac{\mathrm{B}o}{\cos\alpha} = \frac{r}{\cos\alpha}, \quad \text{et} \quad b = ii' = r.$$

Équations des développements de la courbe de tête et des trajectoires. AC est pris pour axe des x, et la perpendiculaire à AC au point A, sommet de l'angle obtus, pour axe des y.

1° *Cas où la section de tête est circulaire* (*fig.* 402). — Pour un point

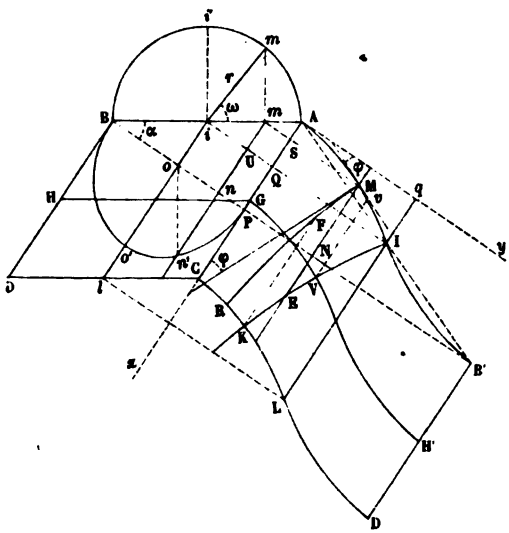


Fig. 402.

M, qui se projette horizontalement en m et verticalement en m', et qui se trouve déterminé par le rayon im', ou mieux par l'angle au centre ω, on a :

$$y = \mathrm{MS} = \text{arc } \mathrm{P}n'.$$

Comme Pn' est un arc d'ellipse, on évite la difficulté de la détermination de sa longueur en se servant, pour fixer la position du point M, de la longueur s de l'arc AM, et l'on a :

$$s = \mathrm{A}m' = \omega r,$$

ω étant, dans cette expression, la longueur de l'arc qui correspond à l'angle ω, et qui est décrit avec l'unité pour rayon.

Quant à l'abscisse du point M, elle est :

$$x = \mathrm{AS} = \mathrm{AQ} - m\mathrm{U};$$
$$x = i\mathrm{A} \sin\alpha - im' \cos\omega \sin\alpha;$$
$$x = r \sin\alpha (1 - \cos\omega).$$

Faisant varier ω entre 0° et 180°, on déterminera, à l'aide des formules (B) et (C), autant de valeurs correspondantes que l'on voudra de s et x, c'est-à-dire autant de points de AB', et l'on pourra tracer cette courbe.

Les équations (B) et (C) s'appliquent à une section quelconque parallèle aux têtes, en augmentant seulement x d'une constante C égale à la distance du point A à la section, cette distance étant mesurée suivant AC. Ainsi l'on a:

$$s = \omega r,$$

$$x = r \sin \alpha (1 - \cos \omega) + C. \qquad \text{(D)}$$

Les équations des trajectoires sont:

$$s = \omega r,$$

$$x' = -\frac{r}{\sin \alpha} \times 2{,}302585 \log \operatorname{tang} \frac{1}{2} \omega - r \sin \alpha \cos \omega + C'. \qquad \text{(E)}$$

Tous les points d'une même génératrice correspondant à une même valeur de ω, il en résulte que les valeurs de x', pour une même valeur de ω, ne diffèrent que par la constante C'; on voit que deux trajectoires quelconques IK, MR interceptent des longueurs égales sur toutes les génératrices, ainsi ME = FK, et il en résulte:

1° Que MF est égal à EK;

2° Que toutes les trajectoires sont des courbes égales; ainsi MF étant appliqué sur EK, les trajectoires indéfinies dont ces arcs ont partie coïncideront dans toute leur étendue;

3° Qu'avec un même patron ou pistolet on peut tracer toutes les trajectoires;

4° Que, sur une même génératrice, toutes les tangentes aux sections parallèles aux têtes sont parallèles entre elles, et qu'il en est de même pour toutes les tangentes aux trajectoires; ainsi, la tangente en M à AB' est parallèle à la tangente à GH' au point où la génératrice ME rencontre GH', et la tangente en M à MR est parallèle à la tangente en E en IK. Comme les premières tangentes sont perpendiculaires aux secondes, ce que l'on voit en M, il en résulte que l'angle que les premières font avec l'axe des y est égal à celui que les secondes font avec l'axe des x. En désignant cet angle par φ, on a

$$\operatorname{tang} \varphi = \frac{\sin \alpha \sin \omega}{\sqrt{1 - \sin^2 \alpha \sin^2 \omega}}. \qquad \text{(F)}$$

Puisque toutes les trajectoires sont les mêmes, il suffit d'en avoir une pour tracer toutes les autres. Or, pour celle qui passe par le sommet I de l'arc de tête, comme on a pour ce point:

$$\omega = 90°; \quad \text{d'où,} \quad \cos \omega = 0, \quad \operatorname{tang} \frac{1}{2} \omega = 1 \quad \text{et} \quad \log \operatorname{tang} \frac{1}{2} \omega = 0,$$

l'équation (E) donne :

$$x' = C'.$$

L'équation (C) fournit, pour le point I,

$$x = r \sin \alpha.$$

Or, comme $x = x' = Iq$, on a donc

$$C' = r \sin \alpha.$$

Par suite, l'équation (E) devient, pour la trajectoire qui part du point I,

$$x' = r \sin \alpha (1 - \cos \omega) - \frac{r}{\sin \alpha} \times 2{,}302585 \log \operatorname{tang} \frac{1}{2} \omega. \quad \text{(G)}$$

Le point de rencontre V de la trajectoire IK avec une section GH′ parallèle à l'arc de tête, comme appartenant à GH′, donne pour x la valeur (D), et, comme appartenant à IK, il donne pour x la valeur (G). Or, comme $x = x'$, on a donc, en égalant (D) à (G) et en supprimant le terme commun,

$$C = - \frac{r}{\sin \alpha} \times 2{,}302585 \log \operatorname{tang} \frac{1}{2} \omega.$$

Cette valeur de la constante C est la distance Vv de GH′ à la courbe de tête, mesurée suivant la génératrice ou l'axe des x.

Faisant varier ω, et portant sur les génératrices correspondantes, à partir de la courbe de tête AB′, les valeurs de C, on déterminera autant de points que l'on voudra de la trajectoire IK, que l'on pourra alors tracer sans s'occuper des sections parallèles aux têtes.

Représentant par x'' les abscisses de IK, comptées à partir de la courbe AB′, on aura :

$$x'' = x' - x,$$

ou, en remplaçant x' et x par leurs valeurs (G) et (C),

$$x'' = - \frac{r}{\sin \alpha} \times 2{,}302585 \log \operatorname{tang} \frac{1}{2} \omega. \quad \text{(H)}$$

Mettant cette formule sous la forme de logarithmes, en remarquant que, pour éviter de prendre les compléments, on peut poser *complément* $\log \operatorname{tang} \frac{1}{2} \omega = \log \operatorname{cotang} \frac{1}{2} \omega$; ce dernier log étant celui de la table, il vient :

$$\log x'' = \log \frac{2{,}302585 r}{\sin \alpha} + \log \left(\log \operatorname{cotang} \frac{1}{2} \omega \right).$$

Il convient de remarquer que le premier terme de la valeur de $\log x''$ est constant.

Cette équation, complétée par celle $s = \omega r$, est celle qu'il convient d'employer pour tracer la trajectoire IK. Après avoir divisé l'arc de tête en voussoirs, ou, pour plus d'exactitude dans le tracé, en demi-voussoirs, surtout vers la naissance, on prend pour ω les valeurs des angles au centre correspondant aux arcs déterminés par les points de division en ne dépassant pas 90°, puisqu'il suffit d'avoir la moitié IK de la courbe. Du reste, entre 90° et 180°, x'' reprendrait les mêmes valeurs, mais avec un signe contraire.

Pour $\omega = 90°$, on a $s = \omega r = \frac{\pi r}{2}$, et la formule (H) donne $x'' = 0$; ce sont les coordonnées du point I. Pour $\omega = 0$, on a $s = 0$ et $x'' = \infty$. Ainsi la trajectoire IK a pour asymptote la génératrice AC. Au-delà du point I, KI a de même pour asymptote la génératrice D'B'.

Les valeurs de x'' (formule H) étant proportionnelles à $\frac{r}{\sin \alpha}$, il en résulte que les valeurs de x''_1 correspondant à un autre rayon r_1 et à un autre angle α_1, pour les mêmes angles ω, se déduiront de la proportion :

$$x''_1 : x'' = \frac{r_1}{\sin \alpha_1} : \frac{r}{\sin \alpha}, \qquad \text{d'où } x''_1 = x'' \frac{r_1 \sin \alpha}{r \sin \alpha_1}.$$

Si $\alpha = \alpha_1$, il vient $x''_1 = x'' \frac{r_1}{r}$; et pour $r = r_1$, on a :

$$x''_1 = x'' \frac{\sin \alpha}{\sin \alpha_1}.$$

A l'aide de ces relations et du tableau suivant, que M. Lefort a calculé pour $r = 4^m,825$, $\alpha = 34°$, et dans l'hypothèse où la demi-circonférence de tête serait divisée en 35 voussoirs, il sera donc facile de calculer les valeurs de x'' pour des rayons de têtes et des biais quelconques, et, par suite, de tailler le patron des nouvelles trajectoires.

La relation $x''_1 = x'' \frac{r_1}{r}$ permet aussi de tracer le patron des trajectoires, soit de l'extrados, soit d'un cylindre moyen entre l'intrados et l'extrados.

2° *Cas où la section circulaire est la section droite* (*fig.* 403). — La courbe AIB' sera alors le développement de la demi-ellipse Ai'B, et l'on pourra calculer sa longueur l à l'aide de la formule (A), en remarquant que le demi-petit axe $b = ii' = r$, et que le demi-grand axe $a = \mathrm{B}i = \frac{\mathrm{B}o}{\cos \alpha} = \frac{r}{\cos \alpha}$.

NUMÉROS des voussoirs	$\frac{1}{2}\omega$	log de $\cot\frac{1}{2}\omega$	log de log $\cot\frac{1}{2}\omega$	log de $\frac{2{,}302585\,r}{\sin\alpha}$	log x	VALEURS de x
						mètres
	0° 0′ 0″	∞	∞		∞	∞
1/2	1 17 9	1,6488651	0,2161943	1,2981512	1,5143455	32,685
1	2 34 17	1,3476632	0,1295932		1,4277444	26,776
1 1/2	3 51 25	1,1712226	0,0686311		1,3667823	23,269
2	5 8 34	1,0457574	0,0194071		1,3175583	20,776
2 1/2	6 25 42	0,9481966	$\bar{1}$,9768954		1,2750466	18,839
3	7 42 51	0,8681983	$\bar{1}$,9306148		1,2367660	17,249
3 1/2	9 00 00	0,8002875	$\bar{1}$,9032474		1,2013986	15,900
4	10 17 9	0,7411823	$\bar{1}$,8699237		1,1680749	14,726
4 1/2	11 34 17	0,6887757	$\bar{1}$,8380742		1,1362254	13,684
5	12 51 25	0,6415643	$\bar{1}$,8072373		1,1053885	12,757
5 1/2	14 8 34	0,5986399	$\bar{1}$,7771657		1,0753169	11,894
6	15 25 42	0,5591256	$\bar{1}$,7475128		1,0456630	11,109
6 1/2	16 42 51	0,5224680	$\bar{1}$,7180614		1,0162126	10,380
7	18 00 00	0,4882240	$\bar{1}$,6886156		0,9867668	9,700
7 1/2	19 17 9	0,4560344	$\bar{1}$,6592885		0,9574397	9,066
8	20 34 17	0,4256151	$\bar{1}$,6290220		0,9271732	8,456
8 1/2	21 51 25	0,3967205	$\bar{1}$,5984841		0,8966353	7,882
9	23 8 34	0,3691463	$\bar{1}$,5672029		0,8653541	7,334
9 1/2	24 25 42	0,3427371	$\bar{1}$,5349648		0,8331160	6,809
10	25 42 51	0,3173387	$\bar{1}$,5015248		0,7996760	6,305
10 1/2	27 00 00	0,2928341	$\bar{1}$,4666156		0,7647668	5,818
11	28 17 9	0,2691163	$\bar{1}$,4299460		0,7280972	5,347
11 1/2	29 34 17	0,2460963	$\bar{1}$,3911116		0,6892628	4,889
12	30 51 25	0,2236857	$\bar{1}$,3496466		0,6477978	4,444
12 1/2	32 8 34	0,2018055	$\bar{1}$,3049427		0,6030939	4,010
13	33 25 42	0,1803980	$\bar{1}$,2562365		0,5543877	3,854
13 1/2	34 42 51	0,1593929	$\bar{1}$,2024611		0,5006123	3,167
14	36 00 00	0,1387390	$\bar{1}$,1422017		0,4403529	2,756
14 1/2	37 17 9	0,1183754	$\bar{1}$,0732783		0,3713295	2,351
15	38 34 17	0,0982585	$\bar{2}$,9923723		0,2905235	1,952
15 1/2	39 51 25	0,0783896	$\bar{2}$,8942607		0,1924119	1,557
16	41 8 34	0,0586520	$\bar{2}$,7673043		0,0654555	1,163
16 1/2	42 25 42	0,0390382	$\bar{2}$,5903736		$\bar{1}$,8885248	0,774
17	43 42 51	0,0196995	$\bar{2}$,2900346		$\bar{1}$,5881858	0,387
17 1/2	45 00 00	0,0000000	— ∞		— ∞	0,000

La section droite BoP se développera suivant la perpendiculaire PB' ; on aura $PB' = \pi r$, et si l'on compte toujours les valeurs de s suivant le développement de la section circulaire, c'est-à-dire suivant PB', on aura, dans ce cas, pour un point quelconque M :

$$s = MS = \omega r, \quad \text{et,} \quad \text{de plus,} \quad s = y.$$

Pour le développement AIB', l'équation (C) devient :

$$x = r \operatorname{tang} \alpha \, (1 - \cos \omega). \qquad (C')$$

Pour une section quelconque parallèle aux têtes, il suffirait d'ajouter au second membre de cette équation une constante C,

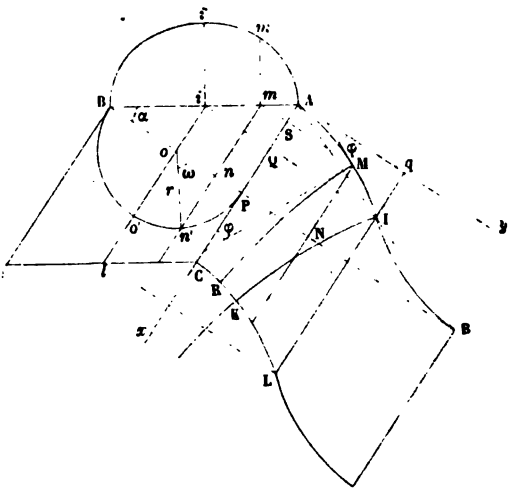


Fig. 403.

qui représenterait la distance de la section à la tête AB, cette distance étant mesurée suivant AC (équation D).

Pour une trajectoire quelconque, l'équation (E) devient :

$$x' = -\frac{r}{\operatorname{tang} \alpha} \times 2{,}302585 \log \operatorname{tang} \frac{1}{2} \omega + C'. \qquad (E')$$

De plus, $\qquad y' = s\omega r.$

Pour la trajectoire IK partant du sommet, on a $C' = Iq = r \operatorname{tang} \alpha$, et, par suite (équation G),

$$x' = r \operatorname{tang} \alpha - \frac{r}{\operatorname{tang} \alpha} \times 2{,}302585 \log \operatorname{tang} \frac{1}{2} \omega. \qquad (G')$$

En comptant les abscisses non à partir de l'arc AB', comme dans le cas de la section de tête circulaire (équation H), mais à partir de la parallèle IQ menée par le point I à l'axe Ay, on a :

$$x'' = x' - \mathrm{I}q = x' - r \operatorname{tang} \alpha = -\frac{r}{\operatorname{tang} \alpha} \times 2{,}302585 \log \operatorname{tang} \frac{1}{2} \omega, \quad (\mathrm{H}')$$

ou, en faisant usage des logarithmes tabulaires,

$$\log x'' = \log \frac{2{,}302585 r}{\operatorname{tang} \alpha} + \log \left(\log \operatorname{cotang} \frac{1}{2} \omega \right).$$

Le patron se construit comme au 1°, en portant les longueurs $s = \omega r$ sur QI, à partir du point Q, et les valeurs de x'' sur les génératrices correspondant aux angles ω, à partir de QI.

Ayant les développements des trajectoires, on obtiendra les projections horizontales et verticales par les moyens géométriques indiqués p. 665.

La formule (F) devient, dans ce cas,

$$\operatorname{tang} \varphi = \operatorname{tang} \alpha \sin \omega. \quad (\mathrm{F}')$$

Voûtes en arc de cercle. — En développant, soit géométrique-

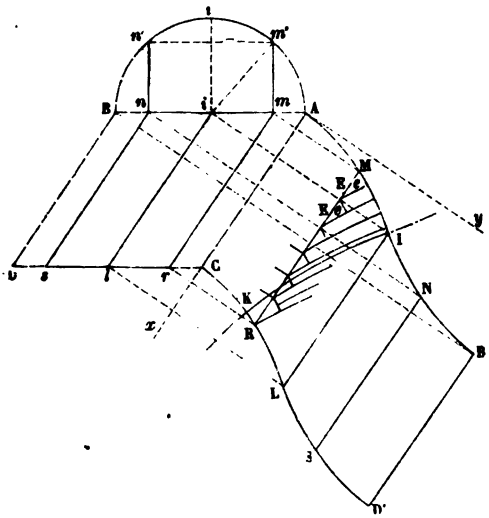


Fig. 404.

ment, soit en ayant recours au calcul, la voûte AiB, dont la voûte surbaissée $m'i'n'$ n'est qu'une partie, cette dernière se développera suivant MNSR. Comme ce développement partiel est

seul utile, les constructions devront être limitées par les génératrices MR et NS, et les opérations par les valeurs de ω, comprises entre Aim' et Ain' et même Aii' s'il s'agit de la trajectoire IK du sommet.

IK ayant AC pour asymptote, il est évident qu'elle coupera la génératrice MR de naissance. Le patron des trajectoires sera taillé suivant IK et MR, et en le faisant glisser le long de MR, puis le long de SN après l'avoir retourné, on pourra tracer toutes les trajectoires.

Les trajectoires venant couper les naissances MR, NS sous des angles aigus, pour remédier à cet inconvénient, on arrête les assises à des coussinets *e* faisant partie des sommiers E qui terminent à la partie supérieure les pieds-droits. L'ensemble de ces coussinets prend le nom de *crémaillère*.

Suivant que ce sera la tête ou la section droite qui sera en arc de cercle, on devra faire usage des formules du 1° ou du 2° des pages précédentes.

Dans le but de diminuer la longueur de l'épure, on pourra ne développer que la voûte surbaissée, en prenant la génératrice *mr* de naissance pour charnière ; MR coïncidera alors avec *mr*.

Voûtes en anse de panier. — Le développement AM du petit arc Am' (*fig.* 405), et celui MI du grand arc $m'i'$ s'obtiennent sans difficulté, à l'aide de la formule $s = \omega r$, dans laquelle ω se comptera pour les deux arcs à partir de *i*A, mais *r* sera le rayon um' du petit arc ou celui om' du grand arc, selon qu'il s'agira de Am' ou de $m'i'$. La trajectoire UV du sommet de la petite voûte dont Am' fait partie, et celle IK du sommet de la grande voûte s'obtiennent à l'aide des formules (H) ou (H'), (p. 671), dans lesquelles *r* variera encore d'un arc à l'autre. Un patron taillé suivant IK et glissant sur MR servira à tracer toute la portion des trajectoires comprises entre les génératrices IL et MR. Un autre patron glissant sur AC et taillé suivant NV, convenablement prolongé, permettra de tracer la portion des trajectoires comprises entre MR et AC. En amenant le point N au point R', on voit que les deux patrons pourront être réunis en un seul, qui glissera sur AC, et qui sera taillé suivant IR', et à partir de R', suivant la

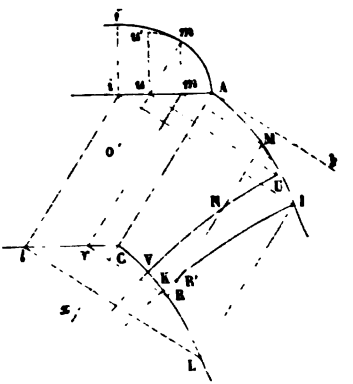


Fig. 405.

courbe NV, amenée parallèlement à elle-même jusqu'à ce que le point N soit en R'.

La valeur de l'angle φ, dépendant de α et de ω, et non de r [formules (F) et (F'), p. 675], comme α est constant pour toute la voûte, et que ω est le même pour tous les points de la génératrice MR, que cette génératrice appartienne à la portion Am' ou à celle $m'i'$, il en résulte que MA et MI ont même tangente en M, et que sur toute la génératrice MR les trajectoires IK et NV ont la même tangente, qui sera déterminée par la formule (F) ou par celle (F') (p. 675).

Appareil hélicoïdal, ou appareil anglais. — Dans l'appareil orthogonal parallèle l'épaisseur des voussoirs variant d'une assise à l'autre et même dans toute l'étendue d'une même assise, on est obligé de faire usage de moellons d'appareil. On remplace souvent les trajectoires orthogonales par des lignes qui sont, sur le

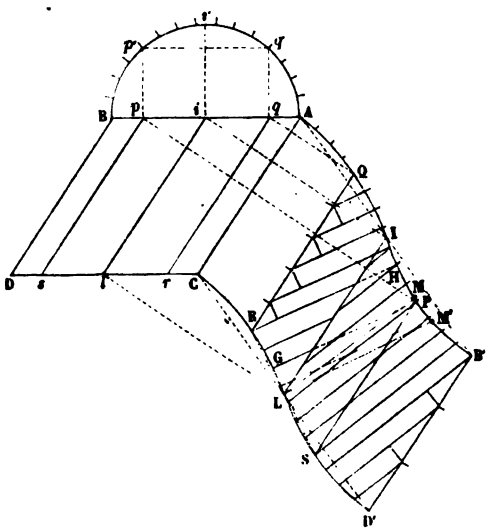


Fig. 406.

développement, des droites parallèles et équidistantes, de manière à donner la même épaisseur à tous les voussoirs. Les droites qu'on substitue aux trajectoires donnent des hélices quand elles sont enroulées sur la douelle de la voûte, puisqu'elles font des angles égaux avec toutes les génératrices qu'elles rencontrent. C'est de là que vient le nom d'appareil hélicoïdal.

Après avoir divisé les têtes AB' et CD' en voussoirs (*fig.* 406), on mène par le point L, correspondant au sommet, une perpen-

diculaire LM à la droite CD′ qui joint les extrémités du développement CD′, et l'on adopte pour lignes d'assises des droites qui joignent les points de division des têtes, tout en s'écartant le moins possible d'être parallèles à LM. Ces lignes, qui sont à peu près équidistantes et parallèles entre elles, sont dessinées sur la figure pour la moitié de voûte située à droite de IL.

Si la voûte était surbaissée ; si, par exemple, elle était limitée aux deux génératrices QR et PS, la directrice LM′ se mènerait perpendiculaire à la droite qui joint les extrémités R et S du développement de l'arc de tête, et les lignes d'assises se détermineraient d'après les conditions : qu'elles doivent joindre les points de division de RS à ceux de QP ; qu'elles doivent autant que possible être parallèles à LM′, et celles qui partent des points R et P doivent aboutir à des points de division H et G, symétriques sur les arcs de tête opposés. Ces lignes d'assises sont dessinées sur la figure 406 pour la partie située à gauche de la génératrice IL.

Dans les voûtes surbaissées, les trajectoires orthogonales sont à peu près parallèles entre elles ; comme, de plus, la directrice LM′ est à peu près normale aux têtes, il en résulte qu'on peut substituer, sans inconvénient sensible, et avec de grands avantages, à cause de sa simplicité, l'appareil hélicoïdal à l'appareil orthogonal parallèle. Plus la voûte est surbaissée, plus la directrice LM′ se rapproche des trajectoires orthogonales, et pour les plates-bandes elle se confond avec les trajectoires. Pour les voûtes en plein cintre ou en anse de panier, LM fait avec les têtes des angles qui s'éloignent beaucoup de l'angle droit ; aussi ne devrait-on appareiller ces voûtes d'après le système hélicoïdal que dans de certaines limites, à moins qu'on y soit obligé par la forme des matériaux.

Les joints d'assises venant rencontrer les naissances sous des angles très aigus, on remédie à cet inconvénient à l'aide d'une crémaillère formée de coussinets faisant partie des sommiers de naissances, comme pour l'appareil orthogonal parallèle appliqué aux voûtes en arc de cercle.

Les divisions des assises en voussoirs se font par des droites perpendiculaires aux joints continus, d'où il résulte que, sauf sur les têtes, les voussoirs sont appareillés suivant des angles droits. Les joints discontinus donnent encore des hélices quand ils sont enroulés sur la douelle, et ces hélices sont normales à celles qui forment les joints d'assises.

Les voussoirs de têtes se font, en général, en pierre de taille et le reste de la voûte en petits matériaux ; de sorte qu'à une assise de tête correspondent plusieurs assises en moellons ou en briques.

Appareil orthogonal convergent. — Lorsque les plans de têtes AB, CD de la voûte (*fig.* 407), au lieu d'être parallèles, se rencontrent

suivant une droite verticale en Z, on suppose la voûte divisée en zones par des plans verticaux qui convergent tous en Z. Dans chaque zone on peut supposer que la plus grande compression a lieu suivant la ligne de plus petit diamètre, c'est-à-dire suivant la diagonale BE pour la zone ABFE. Supposant les zones infiniment petites, ces diagonales iront converger en Z, et l'on voit que les joints discontinus des voussoirs devront être déterminés par des plans verticaux passant par Z. Quant aux joints continus, ils devront être engendrés par une droite se mouvant en restant normale à la douelle de la voûte et en s'appuyant sur des trajectoires normales aux joints discontinus, ou mieux aux courbes, déterminées par des plans verticaux passant par Z.

Cet appareil, appelé *appareil orthogonal convergent* à cause de

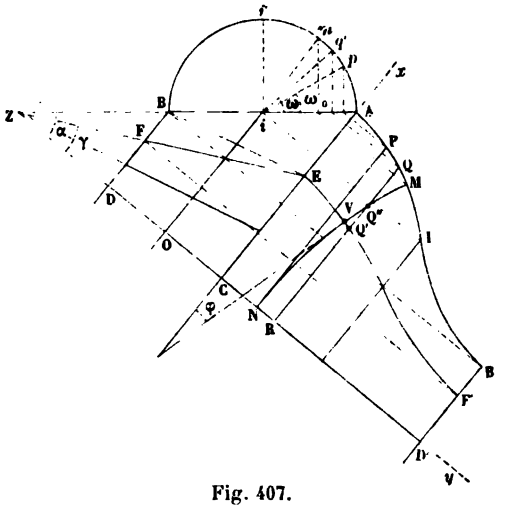


Fig. 407.

sa disposition, est employé pour les extrémités d'une voûte biaise d'une grande longueur, à têtes parallèles, afin d'éviter l'appareil orthogonal, qui est toujours difficile, pour la plus grande longueur de la voûte. Une telle voûte se compose de trois parties : une centrale, appareillée comme une voûte droite, et deux extrêmes, se raccordant avec la première, et disposées selon l'appareil orthogonal convergent.

Soit AB le plan de tête, et CD une section droite ; appliquons l'appareil convergent à la portion de voûte ABDC.

D'abord les constructions graphiques développées p. 665 s'appliquent encore ici pour obtenir les développements des sections convergentes, et tracer approximativement ceux des trajectoires

puis les projections horizontales et verticales de ces trajectoires.

Posons les équations qui permettront de tracer par points, sur le rabattement, les sections convergentes et les trajectoires orthogonales.

1° *Cas où la courbe de tête est circulaire.* — Prenant ici (*fig.* 407) le développement de la section droite pour axe des y, et CA pour axe des x, les équations d'une section convergente quelconque EF′ sont :

$$s = \omega r,$$
$$x = (c + r\cos\omega\cos\alpha)\operatorname{tang}\gamma. \qquad (d)$$

s se mesure sur le développement de la section circulaire ; ainsi, pour $\omega = \mathrm{A}iq'$, on a $s = \mathrm{A}q' = \mathrm{AQ}$;

c est la distance constante OZ. Pour l'élégance des raccordements de la partie biaise avec la partie droite, il convient de prendre c tel que la plus petite génératrice BD du biais ne soit pas moindre que r ; et, pour faciliter le calcul des formules, il convient de faire c égal à un multiple de r ;

γ est l'angle que fait la section convergente considérée avec la section droite ;

α est l'angle de la section de tête avec la section droite ;

ω a les mêmes significations qu'à la page 669.

Ainsi le point Q′, où la génératrice QR rencontre EF′, s'obtient en prenant :

$$\mathrm{AQ} = \mathrm{A}q' = \omega r, \quad \text{et} \quad \mathrm{RQ}' = x = (c + r\cos\omega\cos\alpha)\operatorname{tang}\gamma.$$

Pour l'arc AB′ de tête, l'équation (d) devient, en remarquant que pour cet arc $\gamma = \alpha$,

$$x = c\operatorname{tang}\alpha + r\cos\omega\sin\alpha.$$

Les équations d'une trajectoire NM, partant du point quelconque N de la section droite, sont :

$$s = \omega r,$$

$$x'^2 = 2r^2 \times 2{,}302585\left[\frac{c}{r\cos\alpha}\log\operatorname{tang}\frac{1}{2}\omega + \log\sin\omega - \left(\frac{c}{r\cos\alpha}\log\operatorname{tang}\frac{1}{2}\omega_0 + \log\sin\omega_0\right)\right]$$
$$+ r\sin^2\alpha\,(\cos\omega - \cos_0)\left[\frac{2c}{\cos\alpha} + r(\cos\omega + \cos\omega_0)\right]. \qquad (g)$$

ω_0 est la valeur de ω qui correspond à la génératrice NP passant par le point N.

Pour $\omega = \omega_0$, on a :

$$s = r\omega_0 = \mathrm{A}p' = \mathrm{AP},$$

ce qui fournit la génératrice NP; la formule (g) donne $x' = 0$, et l'on obtient, comme cela devait être, le point N de la trajectoire.

Pour $\omega = Aiq'$, on a :

$$s = \omega r = Aq' = AQ,$$

ce qui permet de mener la génératrice QR, sur laquelle, prenant $RQ'' = x'$, fourni par l'équation (g), on obtient le point Q'' de la trajectoire partant de N.

Faisant varier ω, on obtiendra autant de points que l'on voudra de la trajectoire NQ''.

Opérant de même pour une autre valeur de ω_0, on obtiendrait une autre trajectoire, et l'on voit qu'on pourra ainsi tracer autant de trajectoires qu'on voudra.

L'angle φ, que forme avec l'axe des x la tangente à la trajec-

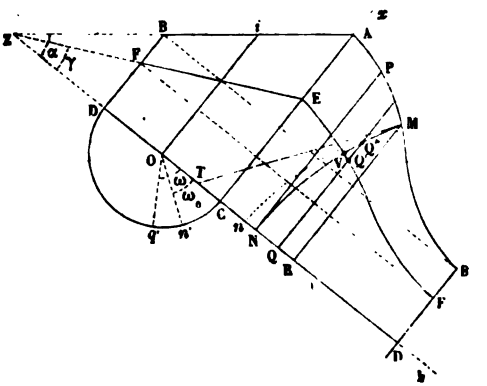


Fig. 408.

toire au point V, est encore égal à l'angle que forme avec l'axe des y la tangente menée au point V à la section convergente EF' passant par V, et l'on a, ω prenant la valeur qui correspond à la génératrice contenant le point V,

$$\operatorname{tang}\varphi = \frac{\cos\alpha \operatorname{tang}\gamma \sin\omega}{\sqrt{1 - \sin^2\alpha \sin^2\omega}}. \qquad (f)$$

Sur l'arc de tête, $\gamma = \alpha$, et cette formule devient :

$$\operatorname{tang}\varphi = \frac{\sin\alpha \sin\omega}{\sqrt{1 - \sin^2\alpha \sin^2\omega}}. \qquad (f_1)$$

2° *Cas où la section de droite est circulaire (fig. 408).* — Pour une

section convergente quelconque EF', on a :

$$s = \omega r,$$

$$x = (c + r \cos \omega) \operatorname{tang} \gamma. \qquad (d)$$

s se mesurant encore sur le développement de la section circulaire, on a, dans ce cas, $s = y$.

Pour $\omega = CO q'$, on a $s = CQ'$, et prenant QQ' égal à la valeur de x, fournie par l'équation (d), le point Q' appartient à EF'.

Pour l'arc de tête AB' on a, en remarquant que $\gamma = \alpha$,

$$s = y = \omega r,$$

$$x = (c + r \cos \omega) \operatorname{tang} \alpha. \qquad (c')$$

Les équations d'une trajectoire NM, partant d'un point quelconque N de la section droite, sont:

$$s = y' = \omega r,$$

$$x'^2 = 2r^2 \times 2{,}302585 \left[\frac{c}{r} \left(\log \operatorname{tang} \frac{1}{2} \omega - \log \operatorname{tang} \frac{1}{2} \omega_0 \right) + \log \sin \omega - \log \sin \omega_0 \right], \qquad (g')$$

que l'on appliquera comme au 1°.

On a, dans ce cas,

$$\operatorname{tang} \varphi = \operatorname{tang} \gamma \sin \omega. \qquad (f)$$

Sur l'arc de tête, cette formule devient :

$$\operatorname{tang} \varphi = \operatorname{tang} \alpha \sin \omega.$$

Substitution de paraboles aux trajectoires orthogonales dans l'appareil convergent. — De même que, pour simplifier les calculs et la construction, on a substitué, sur le développement, des lignes droites aux trajectoires dans le système orthogonal parallèle, ce qui a conduit à l'appareil hélicoïdal ; on a cherché, dans l'appareil convergent, à remplacer les trajectoires orthogonales par des courbes plus simples, qui sont, sur le développement, des paraboles normales à la courbe de tête et à la section droite.

1° *Cas où la courbe de tête est circulaire* (*fig.* 409). — Toute parabole ayant son sommet sur l'axe des y, et qui coupera normalement AB', satisfera à l'énoncé.

Soit MN une trajectoire, déterminée en faisant usage de l'équation (g), et soit Mn la parabole normale en M à AB' et ayant son sommet sur l'axe des y.

Prenant pour origine des axes le sommet n, l'équation de la parabole est :

$$x^2 = 2py.$$

ou, en remplaçant le paramètre $2p$ en fonction des données de la voûte,

$$x^2 = \frac{2\sqrt{1 - \sin^2\alpha \sin^2\omega}\,(c \operatorname{tang}\alpha + r \sin\alpha \cos\omega)}{\sin\alpha \sin\omega} y. \quad (1)$$

Le paramètre étant une quantité constante pour une même parabole, il faut que ω soit constant; ω ne varie que d'une parabole à l'autre, et, pour une parabole quelconque Mn, il faut

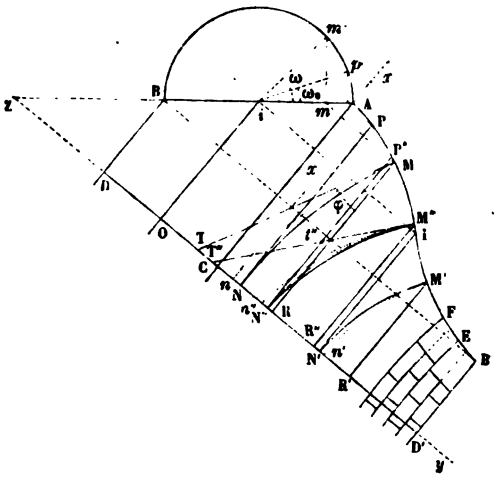


Fig. 409.

prendre la valeur de ω qui correspond au point M, où la parabole considérée rencontre la courbe de tête AB'.

Au point M, la trajectoire MN et la parabole Mn ont la même tangente MT, qui est déterminée par l'équation (f_1).

Le sommet n de la parabole divisant la sous-tangente RT en deux parties égales, on pourra donc déterminer ce sommet. On a, du reste, pour cette détermination, en désignant par y_1 l'ordonnée nR du point M,

$$y_1 = \frac{(c \operatorname{tang}\alpha + r \sin\alpha \cos\omega) \sin\alpha \sin\omega}{2\sqrt{1 - \sin^2\alpha \sin^2\omega}}. \quad (2)$$

En doublant cette valeur de y_1, on aurait la sous-tangente RT, et, par suite, la tangente MT.

Les tangentes déterminant les directions à donner aux premiers éléments des trajectoires, il est aussi très important de pouvoir

les tracer facilement, dans l'appareil orthogonal parallèle. Or, dans ce cas, en prenant BB′ pour axe des y, on a :

$$y_1 = \frac{r \sin^2\alpha \sin\omega\,(1 + \cos\omega)}{2\sqrt{1 - \sin^2\alpha \sin^2\omega}}.$$

Cette formule s'applique à une parabole normale à AB′ en M et qui a son sommet sur BB′; on l'obtient en faisant $c = r \cos\alpha$ dans la formule (2).

Si l'on construisait, de distance en distance, dans toute l'étendue du développement, les trajectoires et les paraboles partant des mêmes points de la courbe de tête BB′, on verrait qu'à la naissance AC l'écart Nn est maximum ; que cet écart va en diminuant progressivement, à mesure que N s'approche du centre N′ de la voûte, et qu'en ce point même n a pu passer à droite de N, pour venir en n', où il reste constamment jusqu'au point D′.

Au-delà du centre, les distances Nn sont assez faibles pour qu'on puisse les négliger dans la pratique, et substituer sans modification les paraboles aux trajectoires ; mais il n'en est pas de même à gauche ; là, il convient de ramener les points n en N, sans que les paraboles cessent de rester normales à CD′. Il est évident que les nouvelles paraboles n'auront plus leur sommet sur Cy.

On peut supposer que, dans le déplacement de M′N′ pour venir en MN, le chemin que parcourt le point n' par rapport au point N′ est proportionnel au chemin que parcourt le point M par rapport au point M′. Il en résulte alors qu'en déterminant Nn pour un point voisin de C, et sa valeur — N′n' pour la position de N au centre N′ de la voûte, n'N′ + Nn sera le parcours de n'' par rapport à N′, pour la distance M′M, et pour la trajectoire partant d'un point quelconque M, le parcours de n' sera :

$$(n'\mathrm{N}' + \mathrm{N}n)\,\frac{\mathrm{M}'\mathrm{M}''}{\mathrm{M}'\mathrm{M}};$$

par suite, la distance N″n'' sera :

$$\delta = (n'\mathrm{N}' + \mathrm{N}n)\,\frac{\mathrm{M}'\mathrm{M}''}{\mathrm{M}'\mathrm{M}} - \mathrm{N}'n'.$$

Connaissant le sommet n'' de la parabole, pour avoir le point N″ de la trajectoire, point par lequel il faut faire passer la parabole qui doit remplacer celle M″n'', il suffit de porter δ à gauche de n'', si sa valeur précédente est négative, et à droite si elle est positive.

On voit que, pour avoir la valeur de δ, il faut commencer par déterminer deux valeurs de Nn. Or la position du sommet n de la parabole dépend de la position du point M, ou plutôt de la valeur de ω, et la valeur de ω découle de celle de ω_0, c'est-à-dire de la

position du point N ; il en résulte qu'ayant fait choix du point N ou de l'angle ω_0, à l'aide de la formule (g), on tracera par points la trajectoire NM, et l'on déterminera approximativement son point de rencontre M avec AB', et par suite la valeur de ω qui correspond à M.

On s'assurera, du reste, que cette valeur de ω est exacte, en vérifiant, si elle donne la même valeur pour x de la courbe AB' (formule c), et pour x' de la trajectoire (formule g). Ayant le point M, on a R ; la formule (2) donne y_1, c'est-à-dire Rn, et par suite on a Nn que l'on peut mesurer sur l'épure, qu'on fait à $0^m,1$ pour mètre.

Au lieu de calculer y_1, on pourrait déterminer l'angle φ au moyen de la formule (f_1), mener MT en faisant usage du rapporteur, et diviser TR en deux parties égales pour avoir le point n.

On pourrait déterminer l'équation de la nouvelle parabole M"N", et, à l'aide de cette équation, construire la courbe par points ; mais il est plus simple et suffisamment exact, pour faire ce tracé, d'avoir recours à la méthode suivante, très souvent employée, surtout sur le terrain, pour raccorder deux alignements droits par une parabole qui leur soit tangente. La parabole est tangente à M"T" en M" et à la génératrice N"P" en N" (*fig.* 409 et 410). Menant alors M"T" en faisant usage de y_1 ; puis N"P" après avoir déterminé le point N", comme il a été indiqué ci-dessus, on divise t"M" et t"N" en un même nombre de parties égales, et joignant les points obtenus de même rang, les droites qui en résultent sont tangentes à la parabole, et permettent de la tracer avec approximation.

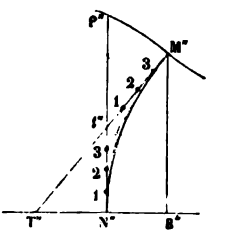


Fig. 410.

Marche à suivre et paraboles adoptées pour lignes de joints. — On fait, à l'échelle de 1 décimètre pour mètre, le développement AB' $= \pi r$ (*fig.* 409), et l'on divise AB' en autant de parties égales qu'il doit y avoir de voussoirs de tête ; n étant le nombre impair de voussoirs, chaque partie est égale à $\frac{\pi r}{n}$.

Il est bon de calculer la longueur $l =$ CD' du développement de la section droite à l'aide de la formule (A) (p. 668). On divise alors CD' en autant de parties égales qu'il doit y avoir de voussoirs dans la partie droite de la voûte ; ces voussoirs étant en moellons, ils n'ont que $0^m,25$ environ suivant CD'. Comme la partie droite de la voûte est la plus importante, c'est surtout elle qu'il faut appareiller de la manière la plus économique et la plus régulière ; aussi ses voussoirs doivent-ils avoir la même dimension suivant CD' ; cette dimension est $\frac{l}{n'}$, n' étant le nombre impair de voussoirs.

Les paraboles de joints des parties biaises de la voûte devant se raccorder sur CD′ avec les joints de la partie droite, cette condition montre qu'on devra encore modifier les paraboles déterminées comme nous l'avons fait plus haut.

Les divisions des voussoirs étant marquées sur AB′ et sur CD′, pour $\omega_0 = 12°$ environ et $\omega_0 = 90°$, on trace les trajectoires orthogonales NM et N′M′ (formule g) ; pour les points M et M′, où ces trajectoires rencontrent AB′, on détermine les valeurs de ω, puis les longueurs des sous-tangentes RE et R′T′, qui sont égales à celles de $2y_1$ (formule 2). Prenant les milieux de ces sous-tangentes, on a les points n et n', et, par suite, la variation $nn'N' + Nn$, à l'aide de laquelle on pourra déterminer les points N″ des trajectoires, connaissant les sommets n'' des paraboles.

Pour tous les points de division de AB′, on détermine les sous-tangentes $2y_1$ des paraboles (formule 2), et on mène les tangentes M″T″ en ces points. On prend les milieux n'' de ces sous-tangentes, puis on détermine les déviations $n''N''$. Si les points N″ se trouvaient aux divisions de CD′, on y ferait passer les paraboles partant des points M″ ; mais, comme il n'en est ainsi qu'exceptionnellement, on dévie encore les points N″ pour les placer aux points de division de CD′, qui sont les plus rapprochés, et c'est par les nouveaux points obtenus qu'on fait passer les paraboles partant des points de division de AB′, en appliquant le procédé graphique de la figure 410, afin que les paraboles soient normales à AB et à CD′, et que, de plus, elles se raccordent tangentiellement avec les joints continus de la partie droite de la voûte. La déviation des paraboles par rapport aux points N″ sera au maximum de la moitié d'un voussoir de la partie droite de la voûte, c'est-à-dire $\frac{l}{2n'}$, soit $0^m,125$, si les voussoirs ont $0^m,25$.

Les voussoirs de têtes étant seuls en pierre de taille, on les continue par des moellons, dont les joints continus, intermédiaires à ceux des voussoirs de têtes, sont des paraboles qui se raccordent également avec les joints de la partie droite de la voûte. On trace ces paraboles intermédiaires comme les premières, en les espaçant également dans l'étendue de chaque division EF de AB′.

2° *Cas où la section droite est circulaire* (*fig.* 408). — On suit la même marche qu'au 1° ; il suffit seulement de substituer les équations du 2° (p. 681) à celles du 1° (même page), et de modifier convenablement les équations relatives aux paraboles.

L'équation (1) de la parabole Mn devient :

$$x^3 = \frac{2(c + r\cos\omega)}{\sin\omega}\, y, \qquad (1')$$

et celle (2) de l'ordonnée nR du point M de la parabole Mn :

$$y_1 = \frac{1}{2}(c + r \cos \omega) \sin \omega \operatorname{tang}^2 \alpha, \qquad (2')$$

formule à l'aide de laquelle on pourra mener la tangente au point M, et déterminer l'écart nN ; on trouvera de même l'écart n'N' pour le point N' correspondant à $\omega_0 = 90°$; puis on continuera les opérations et les constructions comme au 1° (p. 680).

Remarques. — 1° Dans le cas de l'appareil orthogonal parallèle, pour mener la tangente à la trajectoire en un point M de tête on établira la formule (2') pour une parabole normale à AB' au point M, et qui a son sommet sur BB', considéré comme axe des y ; ce qui revient à faire $c = r$ dans la formule (2'), qui devient :

$$y_1 = \frac{1}{2} r \sin \omega \operatorname{tang}^3 \alpha (1 + \cos \omega).$$

2° Ce qui vient d'être dit de l'appareil orthogonal convergent pourra s'appliquer aux ponts biais en arc de cercle et en anse de panier ;

3° Si l'on n'avait à sa disposition que des matériaux d'une épaisseur uniforme, et que la voûte fût très longue, on pourrait appareiller les têtes AB, CD suivant le système hélicoïdal, et le reste de la voûte comme une voûte droite. Les hélices feraient un angle avec les génératrices de la voûte droite ; mais on obvierait à cet inconvénient par une chaîne en pierre de taille, placée à la rencontre des deux systèmes d'assises.

Exécution des voûtes biaises[1]. — *Épure.* — L'exécution d'une voûte biaise nécessite le tracé d'une épure, grandeur d'exécution, à l'aide de laquelle on arrête la forme des panneaux de douelle, de lits et de joints pour la taille des pierres.

Mise en œuvre des cintres. — En outre de la contraction que les cintres éprouvent pendant la construction, la poussée au vide d'une voûte biaise tend à leur imprimer un mouvement de torsion, qui a pour effet de les rejeter en dehors des plans de tête, du côté des angles obtus, et en dedans, du côté des angles aigus. Le même effet se produisant sur les voussoirs, ceux-ci, en faisant sur eux-mêmes, et de haut en bas, un mouvement de rotation autour d'une de leurs arêtes de douelle, tendent à se jeter en dehors des plans de têtes du côté des angles obtus, et en dedans du côté des angles aigus.

La tendance au déversement est peu à redouter vers l'angle aigu ; on s'oppose au déversement du côté de l'angle obtus par

[1] *Voir* la 2e édition du *Traité spécial de la coupe des pierres*, de P.-J. Douliot, revue par F. M. Jay, J. Claudel et L. Barré.

un contreventement des fermes du cintre entre elles ; elles doivent être reliées, dans le sens perpendiculaire aux têtes, par des moises assemblées et boulonnées. Il est prudent de contre-buter les fermes de têtes en dehors, vers les angles obtus, au moyen de forts étais inclinés et fixés au sol.

Quand on craint qu'il se produise quelque mouvement dans les voussoirs de têtes, on relie 2 à 2 les quatre ou cinq premiers voussoirs, au moyen de goujons et de crampons d'amarre, scellés dans leurs extrados et dans le massif des piles ou des culées. Les deux premiers voussoirs des angles obtus se font même d'un seul bloc de pierre.

Les fermes des cintres étant levées et consolidées, on procède à la pose des couchis, qu'on fixe sur chaque ferme, au moyen de fortes pointes. On donne à quelques couchis assez de longueur pour qu'ils fassent saillie de $0^{m},05$ au moins sur les plans de têtes, afin que la position des arcs de têtes puisse y être tracée, mais il faut éviter de faire saillir tous les couchis.

Le plus souvent, au lieu de mettre les couchis jointifs, on les espace et l'on recouvre le tout de planches posées transversalement et clouées sur les couchis.

Si l'on tenait à une extrême précision dans le dressage de la douelle, on pourrait placer les couchis bruts et jointifs, et les recouvrir d'une aire en plâtre.

Quand les voussoirs de têtes doivent faire bossage sur l'intrados, on entaille les couchis, dans toute l'étendue de ces voussoirs, d'une quantité égale à la saillie des bossages, à moins de racheter cette saillie en surélevant le cintre entre les têtes, à l'aide d'une ou deux épaisseurs de planches minces.

Mise en œuvre des matériaux de la voûte. — Quand le cintrage est terminé, on fixe verticalement sur chaque tête, au droit des naissances, deux règles ou deux montants; d'un montant à l'autre, à la hauteur de l'extrados et dans le plan de chaque tête, on tend un cordeau ou mieux un fil de fer; à l'aide d'un fil à plomb, on descend une série de points de ce cordeau sur les couchis; avec une règle flexible, on réunit les points obtenus, et la ligne qui en résulte indique la position de l'arête de la douelle.

Les règles ou montants servant à tendre les lignes en tête sont fixés sur les murs pieds-droits, et indépendants des cintres.

Avant de commencer la pose, on charge les cintres à leur sommet.

La pose des crémaillères ou crossettes de naissance se fait en commençant par les pierres extrêmes, qui contiennent ordinairement, pour chaque tête, la première retombée de la voûte. On pose ensuite les voussoirs voisins de têtes et la maçonnerie en pierre, moellons ou briques formant le complément correspondant de douelle; puis les voussoirs suivants de têtes et la maçonnerie

intermédiaire, et ainsi de suite ; chaque dernière bande posée se termine suivant une ligne à redans, dont les sommets sont sur une parallèle aux naissances, c'est-à-dire sur une génératrice. Quand on fait avancer les maçonneries suivant la direction des joints continus, la forte charge, due au remplissage triangulaire fait du côté des angles obtus, occasionne un mouvement de torsion dans le cintre, et il en résulte un déversement des têtes, surtout quand les cintres n'ont pas été contre-butés à l'extérieur.

Avant de commencer la pose des voussoirs, on reporte sur le

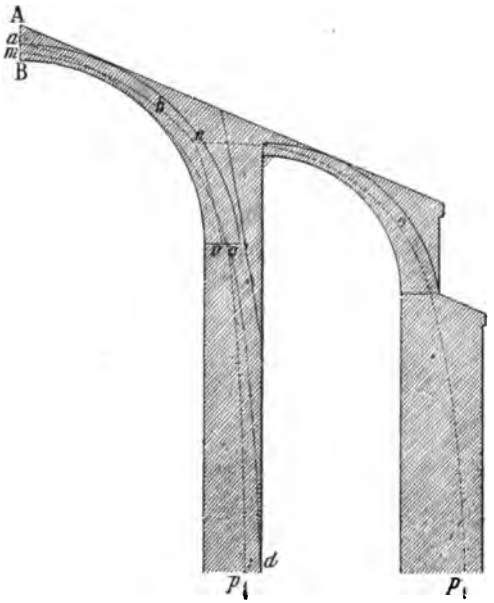


Fig. 411. — Voûte consolidée par arcs-doubleaux.

(Si cette voûte était isolée, elle ne pourrait tenir en équilibre, comme l'indique la courbe des pressions sortant du pied droit en *d*. Grâce à l'arc-boutant, cette courbe prend la forme *mnoep*, avec une bifurcation *no'p'*, et ses deux branches demeurent à l'intérieur du pied droit.)

cintre la division des arcs de têtes qui a été faite sur l'épure, en marquant sur chaque tête l'emplacement de chaque voussoir, et l'on trace sur le cintre, à l'aide de cordeaux ou de règles minces, les joints continus et discontinus, conformément à l'épure.

Emploi du mortier de ciment romain dans les voûtes biaises. — Les difficultés d'appareil des voûtes biaises peuvent être évitées, en substituant à la pierre de taille une maçonnerie de petits matériaux (meulières, moellons ou briques), posés avec mortier de ciment romain.

On peut construire le tout en moellons ou en briques, et couvrir les parements vus d'un revêtement en ciment, dans lequel on figure un appareil de joints ou de bossages. On mène la construction par rangs hélicoïdaux, plus ou moins larges, arrêtés dans leur longueur par redans, suivant la direction des génératrices de la voûte.

On peut construire une voûte biaise en pierre de taille pour les crémaillères et les voussoirs de têtes, et en matériaux bruts et ciment romain pour le reste. Le remplissage de la douelle ne se fait en suivant la même marche que quand toute la voûte est en petits matériaux, mais en reliant les joints des pierres de taille avec le massif en petits matériaux par un garnissage en mortier de ciment. Les joints des voussoirs de têtes et des crémaillères doivent être remplis avec du mortier de ciment romain.

Arcs-boutants. — Un moyen de consolidation de voûtes consiste à ajouter à l'extérieur de la voûte compromise une voûte ou une fraction de voûte légère appelée *arc-boutant* et exerçant une contre-pression ou *butée*, qu'il faut appliquer en un point tel que la résultante de cette butée et de la pression exercée par la voûte, sur le pied-droit, soit verticale et dirigée suivant l'axe du pied-droit, ou tout au moins ne s'approche pas de l'extérieur de ce support à moins de 1/3 de son épaisseur. L'arc-boutant, dans une église, part d'un contrefort, franchit extérieurement la largeur des collatéraux et va s'appuyer sur les murs de la nef et du chœur.

Les arcs-boutants, véritables contre-fiches, formés à l'origine d'un arc simple, cintré en quart de cercle, furent constitués plus tard par deux arcs superposés et rendus solidaires au moyen d'arcatures.

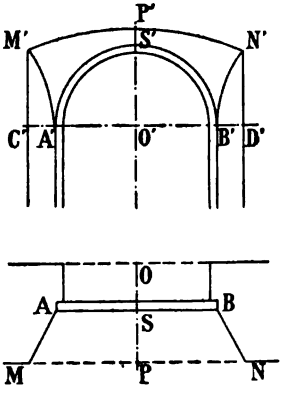


Fig. 412.

Les architectes du moyen âge établirent sur les rampants des arcs-boutants un *caniveau* amenant les eaux à une *gargouille* saillante qui les rejetait loin des murs.

L'arrière-voussure est une voûte pratiquée derrière le tableau d'une porte ou d'une croisée et qui sert à décharger la plate-bande, à couvrir l'embrasure et à donner plus de jour à l'intérieur de la salle où elle est pratiquée.

L'arrière-voussure est en plein cintre ou en arceau; dans ce dernier cas elle est dite *bombée*.

L'arrière-voussure de Marseille (*fig.* 412) est cintrée par devant

et bombée par derrière, elle s'emploie pour faciliter l'ouverture des vantaux cintrés d'une porte.

L'arrière-voussure de Montpellier ne diffère de la précédente qu'en ce que la ligne bombée de derrière est remplacée par une plate-bande.

L'arrière-voussure de Saint-Antoine est le contraire de la précédente; la plate-bande existe sur le devant de la voûte, tandis que le derrière est en plein cintre ou quelquefois elliptique.

Ouvertures dans les voûtes. — Il arrive souvent qu'il faut prendre le jour en un point déterminé d'une voûte ou ménager une ouverture pour le passage d'un escalier, d'un monte-charge, etc. En pareil cas, il faut toujours reconstituer une butée de résistance convenable au point où la continuité de l'appareil est interrompue. A cet effet, on circonscrit l'ouverture de parties arquées, d'une brique ou d'une demi-brique d'épaisseur ; ces parties forment une ligne fermée (*fig.* 413, A) ou s'appuient contre les murs de pourtour (*fig.* 414, B). Le plus souvent, la prise du jour doit se faire par le milieu même de la voûte ; l'ouverture peut alors être carrée ou ronde (*fig.* 413, A, et 415, D).

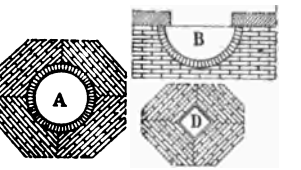


Fig. 413 à 415.

Dans le premier cas, la butée est formée d'un anneau en briques, et dans le second d'un châssis en fer, lequel fait fonction de clef de voûte.

Expériences sur la résistance des voûtes. — L'Association autrichienne des Ingénieurs et Architectes a fait, de 1890 à 1893, des expériences comparatives sur la résistance des voûtes[1].

Ces expériences ont montré que, pour de faible portée (1m,35), les voûtes en briques avec flèche de 1/10, construites avec de la chaux grasse offrent toute sécurité, n'ayant subi que de petites déformations sous une charge de 7.000 kilogr. par mètre carré. L'appareil avec joints annulaires a donné des déformations au sommet plus faibles que celles de la voûte à joints longitudinaux.

Une voûte en béton de 75 millimètres d'épaisseur, composée de 1 partie de ciment de Portland de Kirchdorf et de 5 parties de sable, présente la même solidité qu'une voûte en briques d'épaisseur double. Les voûtes en béton ont, de plus, l'avantage d'être légères.

Les voûtes en briques, systèmes Schober et Hënel, ont donné des déformations plus faibles que les voûtes en briques ordinaires et ont résisté à une charge de 8.000 kilogr. par mètre

[1] Voir *le Génie civil* (décembre 1895 et janvier 1896).

carré, tandis que les voûtes en briques Gluckselig et Schneider se sont rompues sous cette charge avec déformations sensibles.

Pour des voûtes de $2^m,70$ d'ouverture, les expériences ont donné les résultats suivants :

	EPAISSEUR au sommet en millimètres	FLÈCHE	POIDS propre par mèt. car.	POIDS de la terre et du plancher	CHARGE de rupture par mèt. car.
			kg	kg	kg
Voûte en béton damé.....	85	230	1.402	610	5.504
— en ciment Monier, arc simple.	50	260	1.114	614	5.940
— — — avec béton.	55	260	2.460	»	6.444
— en briques ordinaires.....	140	250	1.215	680	4.314
— en briques Hönel.....	100	135	812	555	2.400
— en tôle ondulée sans armature.	»	250	70	824	4.751
— — — avec armature aux extrémités.....	»	»	97	870	5.370

Comme conclusion des expériences faites sur les voûtes de grande ouverture, la Commission autrichienne préconise, pour assurer une bonne répartition des fortes charges roulantes sur toute la largeur des voûtes, d'en recouvrir l'extrados d'une couche de ballast, dont l'épaisseur doit être de 1 mètre pour les ponts de chemins de fer.

Pour des voûtes dans lesquelles le rapport de la hauteur sous clef à l'ouverture varie de 1/2 à 1/5, on adoptera, pour l'épaisseur *d* au sommet des ponts-routes et des ponts de chemins de

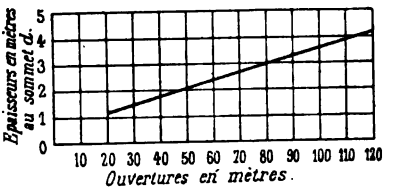


Fig. 416.

fer, les dimensions données par l'échelle graphique (*fig.* 416). Pour les voûtes semi-circulaires, l'épaisseur aux naissances K devra être égale à 1,7*d*. Pour les autres formes de voûtes, on prendra K = 1,5*d*.

La largeur minimum des voûtes, au sommet et aux naissances, se calculera au moyen du graphique (*fig.* 417). La largeur aux naissances *n* est égale à 1,1*s* (*s* étant la largeur au sommet).

On fera travailler les matériaux employés dans les voûtes à 1 ou 2 kilogr. par centimètre carré par traction ; pour la résistance à

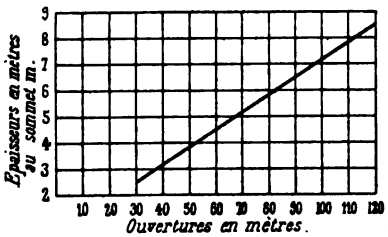


Fig. 417.

l'écrasement, on prendra un coefficient de sécurité variant de 1/10 à 1/4.

CHAPITRE VIII

ARCHITECTURE PROPREMENT DITE ET GROS OUVRAGES[1]

Ordres d'architecture[2]

Fondations. — Le premier travail à faire pour établir une construction, lorsque l'alignement principal et le nivellement sont déterminés, consiste à tracer au cordeau les fouilles des caves, les rigoles de fondation, etc.

Au lieu de faire descendre directement la fouille à la profondeur convenable, ce qui entraînerait à une main-d'œuvre considérable, par suite d'un grand nombre de jets à la pelle, on commence la fouille en établissant des rampes permettant aux tombereaux ou camions de prendre directement, jusqu'au fond de l'excavation, la plus grande partie des déblais. S'il y a nécessité de recourir à l'emploi des brouettes, on établit des rampes, comme lorsqu'il s'agit de tombereaux ou de camions.

[1] Voir *Architecture*, par Albert Hébrard, 1897.

[2] Pour les proportions et le détail de divers ordres d'architecture, consulter l'*Aide-Mémoire des ingénieurs, architectes, etc.*, de J. Claudel et L.-A. Barré, et le *Memento de l'architecte*, de L.-A. Barré et Paul Barré, où se trouve l'histoire sommaire des styles.

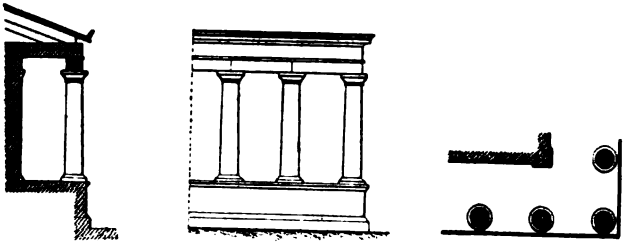


Fig. 418 à 420. — Colonnes élevées sur un soubassement.

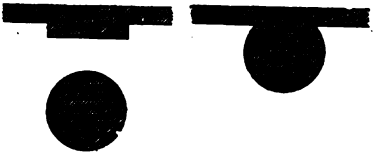


Fig. 421. Colonne dégagée. Fig. 422. Colonne engagée.

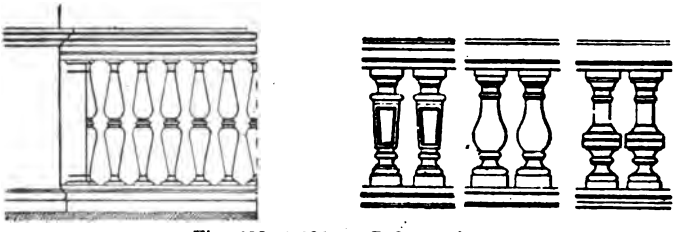


Fig. 423 et 424. — Balustrades.

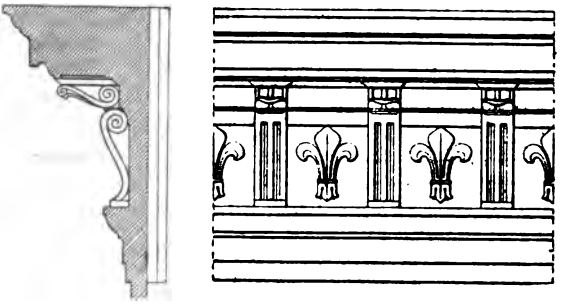


Fig. 425. — Corniche du palais de Caprarola.

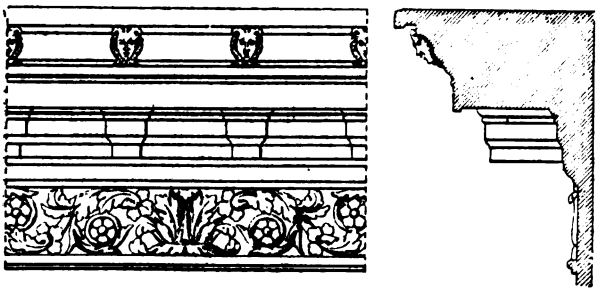


Fig. 426. — Frise du Louvre avec modillons et cymaise un peu développée.

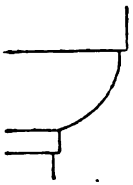


Fig. 427. Quart de rond droit.

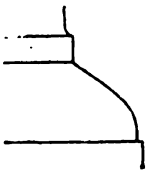


Fig. 428. Quart de rond renversé.

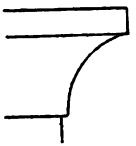


Fig. 429. Cavet droit.

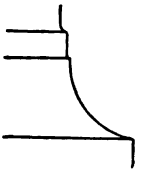


Fig. 430. Cavet renversé.

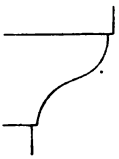


Fig. 431. Talon droit.

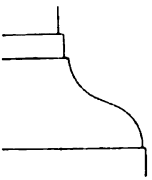


Fig. 432. Talon renversé.

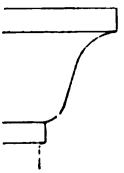


Fig. 433. Doucine droite.

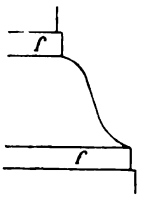


Fig. 434. Doucine renversée. *f*, filets ou listels.

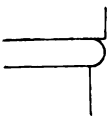


Fig. 435. Baguette.

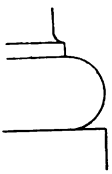


Fig. 436. Tore.

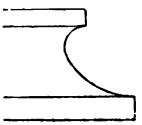


Fig. 439. Scotie.

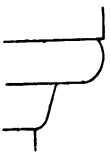


Fig. 440. Bec de chouette ou bec de corbin.

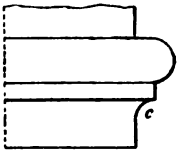


Fig. 441. — Astragale.
c, congé.

Fig. 442. — *Larmier* ou platebande refouillée pour empêcher les eaux pluviales de descendre le long des murs. Le corps de moulures surmontant le larmier est la *cymaise*.

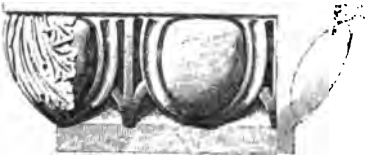


Fig. 443. — Ove et dard, pour orner le quart de rond.

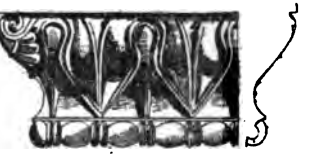


Fig. 444. — Rais de cœur et perles ou pirouettes, pour orner les talons et les baguettes.

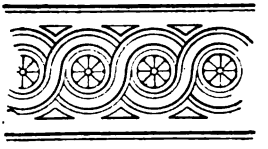


Fig. 445. — Entrelacs pour orner les tores et les plates-bandes.

Fig. 446. — Postes pour orner les plates-bandes.

Fig. 447. — Palmettes et fleurs de lotus ornant une doucine.

Fig. 448 à 455.

On doit veiller à ce que les berges des fouilles soient dressées et taillées avec un peu de fruit et non de surplomb ; on doit faire des étaiements dès qu'ils paraissent nécessaires. Les rigoles de fondation doivent être régulières sur le fond et sur leur largeur ; s'il en était autrément, de l'habitude qu'ont les maçons de les remplir complètement d'un blocage en maçonnerie, il pourrait résulter que les fondations fussent en quelques points moins épaisses que les murs qui les surmontent.

Le sol des caves et le fond des rigoles doivent être, autant que possible, de niveau dans toute leur étendue. Si le terrain n'est pas assez résistant pour y recevoir directement la construction, on le consolide par les moyens indiqués (p. 499 et suivantes). Sur un terrain de remblais très secs et résistants, on se contente, surtout quand la construction ne doit avoir qu'un étage, ou deux au plus, de pieux de béton.

Fosses d'aisances. — Les terrassements étant terminés, on procède ordinairement à la construction des fosses d'aisances, qui doivent être placées plus bas que les caves, de manière que l'extrados de leur voûte se trouve au niveau du sol des caves ; on n'a pas à redouter ainsi les inconvénients qui peuvent résulter du peu d'imperméabilité des maçonneries, c'est-à-dire les infiltrations et les fuites. A Paris, depuis l'établissement de l'écoulement direct à l'égout qui se réalise partout, les fosses d'aisances disparaissent peu à peu.

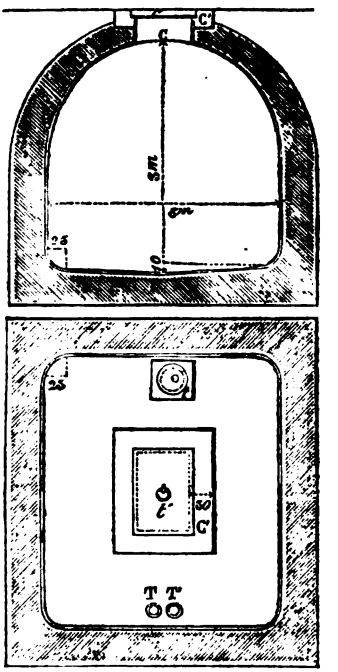


Fig. 456 et 457.

Pour les fosses d'aisances, la maçonnerie des murs, auxquels on ne peut donner moins de 0m,45 ou 0m,50 d'épaisseur, et celle de la voûte, dont l'épaisseur ne peut être moindre que 0m,30 à 0m,35, doivent être hourdées en mortier hydraulique, et leurs parois intérieures recouvertes d'un enduit en mortier de chaux hydraulique, ou mieux de ciment romain ; on s'assure ainsi de l'imperméabilité, à cause du voisinage des caves, des puits, des citernes, etc.

On doit chercher à placer les fosses d'aisances sous les cages

d'escaliers ou auprès ; cela permet, en arrondissant ces cages, de loger les tuyaux de descente et d'évent dans les angles, et même d'y placer les cabinets.

Les tuyaux de descente doivent être placés verticalement. On les fait correspondre au cabinet de chaque étage au moyen d'un coude de tuyau en fonte ou en terre cuite, sur lequel on pose la cuvette, s'il y en a une, puis le siège.

Le diamètre intérieur des tuyaux de descente est de $0^m,20$ à $0^m,27$. Quant aux tuyaux d'évent, placés derrière ceux de descente, et qui vont du sommet de la fosse au-dessus des combles, on leur donne un diamètre de $0^m,25$ au moins.

Dans les bâtiments importants, les conduits de descente et de ventilation se font en fonte, que l'on rejointoie avec du ciment romain ou du mastic de fontainier. Ces conduites se font aussi en terre cuite ou en grès.

On ne doit pas donner aux fosses d'aisance moins de 2 mètres de côté, et l'on en fait jusqu'à 8 mètres de côté. Quelle que soit leur capacité, on ne doit jamais leur donner moins de 2 mètres de hauteur sous clef.

Les figures 456 et 457 représentent les coupes verticales et horizontales d'une fosse d'aisance, pour un bâtiment habité par 7 et 8 personnes, construite selon les règles de l'ordonnance suivante. Cette fosse a 3 mètres de largeur, $4^m,50$ de longueur et 3 mètres de hauteur sous clef.

Fosses d'aisances fixes. — ORDONNANCE DU 24 SEPTEMBRE 1819

SECTION I. — *Des constructions neuves*

ART. 2. — Lorsque les fosses seront placées sous le sol des caves, ces caves devront avoir une communication immédiate avec l'air extérieur.

ART. 3. — Les caves sous lesquelles seront construites les fosses d'aisances devront être assez spacieuses pour contenir quatre travailleurs et leurs ustensiles, et avoir au moins 2 mètres de hauteur sous la voûte.

ART. 4. — Les murs, la voûte et le fond des fosses seront entièrement construits en pierre meulière maçonnée avec du mortier de chaux maigre et de sable de rivière bien lavé. Les parois des fosses seront enduites de pareil mortier, lissé à la truelle[1]. On ne pourra donner moins de 30 à 35 centimètres d'épaisseur aux voûtes et moins de 45 à 50 centimètres aux massifs et aux murs.

ART. 5. — Il est défendu d'établir des compartiments ou divisions dans

[1] Pour toutes les questions d'assainissement, voir *Manuel de Génie sanitaire*, 2 vol. par L.-A BARRÉ et Paul BARRÉ, 1897.

[1] Un arrêté du 1er août 1862 a admis, dans la construction des fosses d'aisances, les bétons de ciment romain de Vassy ou de Portland, et le béton Coignet.

les fosses, d'y construire des piliers et d'y faire des chaînes ou des arcs en pierres apparentes.

Art. 6. — Le fond des fosses d'aisances sera fait en forme de cuvette concave. Tous les angles intérieurs seront effacés par des arrondissements de 25 centimètres de rayon.

Art. 7. — Autant que les localités le permettront, les fosses d'aisances seront construites sur un plan circulaire, elliptique ou rectangulaire. On ne permettra pas la construction de fosses à angles rentrants, hors le seul cas où la surface de la fosse serait au moins de 4 mètres carrés de chaque côté de l'angle, et alors il sera pratiqué de l'un et de l'autre côté une ouverture d'extraction.

Art. 8. — Les fosses, quelle que soit leur capacité, ne pourront avoir moins de 2 mètres de hauteur sous clef.

Art. 9. — Les fosses seront couvertes par une voûte en plein cintre, ou qui n'en différera que d'un tiers de rayon.

Art. 10. — L'ouverture d'extraction des matières sera placée au milieu de la voûte, autant que les localités le permettront. La cheminée de cette ouverture ne devra point excéder 1m,50 de hauteur, à moins que les localités n'exigent impérieusement une plus grande hauteur.

Art. 11. — L'ouverture d'extraction correspondant à une cheminée de 1m,50 au plus de hauteur ne pourra avoir moins de 1 mètre en longueur sur 65 centimètres en largeur. Lorsque cette ouverture correspondra à une cheminée excédant 1m,50 de hauteur, les dimensions ci-dessus spécifiées seront augmentées de manière que l'une de ces dimensions soit égale aux deux tiers de la hauteur de la cheminée.

Art. 12. — Il sera placé en outre à la voûte, dans la partie la plus éloignée du tuyau de chute, et de l'ouverture d'extraction, si elle n'est pas dans le milieu, un tampon mobile dont le diamètre ne pourra être moindre de 50 centimètres. Ce tampon sera en pierre, encastré dans un châssis en pierre et garni dans son milieu d'un anneau en fer.

Art. 13. — Néanmoins ce tampon ne sera pas exigible pour les fosses dont la vidange se fera au niveau du rez-de-chaussée et pour celles qui auront une superficie moindre de 6 mètres dans le fond et dont l'ouverture d'extraction sera dans le milieu.

Art. 14. — Le tuyau de chute sera toujours vertical. Son diamètre intérieur ne pourra avoir moins de 25 centimètres, s'il est en terre cuite, et de 20 centimètres s'il est en fonte.

Art. 15. — Il sera établi parallèlement au tuyau de chute un tuyau d'évent, lequel sera conduit jusqu'à la hauteur des souches de cheminées de la maison ou de celles des maisons contiguës, si elles sont plus élevées. Le diamètre de ce tuyau d'évent sera de 25 centimètres au moins; s'il passe cette dimension, il dispensera du tampon mobile (*fig.* 457).

Art. 16. — L'orifice intérieur des tuyaux de chute et d'évent ne pourra être descendu au-dessous des points les plus élevés de l'intrados de la voûte.

Section II. — *Des reconstructions des fosses d'aisances dans les maisons existantes*

Art. 17. — Les fosses actuellement pratiquées dans les puits, pui-

sards, égouts anciens, aqueducs ou carrières abandonnées, seront comblées ou reconstruites à la première vidange.

Art. 18. — Les fosses situées sur le sol des caves qui n'auraient point communication immédiate avec l'air extérieur seront comblées à la première vidange, si l'on ne peut établir cette communication.

Art. 19.— Les fosses actuellement existantes dont l'ouverture d'extraction, dans les deux cas déterminés par l'article 11, n'aurait pas et ne pourrait avoir les dimensions prescrites par le même article, celles dont la vidange ne peut avoir lieu que par des soupiraux ou des tuyaux seront comblées à la première vidange.

Art. 20. — Les fosses à compartiments ou étranglements seront comblées ou reconstruites à la première vidange, si l'on ne peut pas faire disparaître ces étranglements ou compartiments, et qu'ils soient reconnus dangereux.

Art. 21. — Toutes les fosses des maisons existantes qui seront reconstruites le seront suivant le mode prescrit par la première section du présent règlement. Néanmoins le tuyau d'évent ne pourra être exigé que s'il y a lieu à reconstruire un des murs en élévation au-dessus de ceux de la fosse, ou si ce tuyau peut se placer intérieurement ou extérieurement sans altérer la décoration des maisons.

Section II. — *Des réparations des fosses d'aisances.*

Art. 22. — Dans toutes les fosses existantes et lors de la première vidange, l'ouverture d'extraction sera agrandie, si elle n'a pas les dimensions prescrites par l'article 11 de la présente ordonnance.

Art. 23. — Dans toutes les fosses dont la voûte aura besoin de réparation, il sera établi un tampon mobile, à moins qu'elle ne se trouve dans le cas d'exception prévu par l'article 13.

Art. 24. — Les piliers isolés établis dans les fosses seront supprimés à la première vidange, ou l'intervalle entre les piliers et les murs sera rempli en maçonnerie toutes les fois que le passage entre ces piliers et les murs aura moins de 70 centimètres de largeur.

Art. 25. — Les étranglements existant dans les fosses et qui ne laisseraient pas un passage de 70 centimètres au moins de largeur seront élargis à la première vidange, autant qu'il sera possible.

Art. 26. — Lorsque le tuyau de chute ne communiquera avec la fosse que par un couloir ayant moins de 1 mètre de largeur, le fond de ce couloir sera établi en glacis jusqu'au fond de la fosse, sous une inclinaison de 45° au moins.

Art. 27. — Toute fosse qui laisserait filtrer ses eaux par les murs ou par le fond sera reparée.

Art. 28. — Les réparations consistant à faire des rejointoiements, à élargir l'ouverture d'extraction, placer un tampon mobile, rétablir les tuyaux de chute et d'évent, reprendre la voûte et les murs, boucher ou élargir des étranglements, réparer le fond des fosses, supprimer des piliers, pourront être faites suivant les procédés employés à la construction première de la fosse.

Art. 29. — Les réparations consistant dans la reconstruction entière d'un mur, de la voûte ou du massif du fond des fosses d'aisances ne pourront être faites que suivant le mode indiqué ci-dessus pour les constructions neuves. Il en sera de même pour l'enduit général, s'il y a lieu à en revêtir les fosses.

Art. 30. — Les propriétaires des maisons dont les fosses seront supprimées en vertu de la présente ordonnance seront tenus d'en faire construire de nouvelles, conformément aux dispositions prescrites par les articles de la première section.

ORDONNANCE DE POLICE DU 23 OCTOBRE 1850

Art. 1er. — Aucune fosse d'aisances ne pourra être construite, reconstruite ou réparée, sans déclaration préalable. Cette déclaration sera faite par le propriétaire ou par l'entrepreneur qu'il aura chargé de l'exécution des ouvrages.

Dans le cas de construction ou de reconstruction, la déclaration devra être accompagnée du plan de la fosse à construire ou à reconstruire, et de celui de l'étage supérieur.

Art. 4. — Il est défendu de combler des fosses d'aisances ou de les convertir en caves sans en avoir préalablement obtenu l'autorisation.

Art. 10. — Toute fosse, avant d'être comblée, sera vidée et curée à fond.

Art. 11. — Toute fosse destinée à être convertie en cave sera curée avec soin; les joints en seront grattés à vif et les parties en mauvais état réparées.

Art. 13. — Tous matériaux provenant de la démolition des fosses d'aisances seront immédiatement enlevés.

Art. 14. — Les fosses neuves, reconstruites ou réparées, ne pourront être mises en service et fermées qu'après qu'un architecte de l'administration en aura fait la réception et aura délivré un permis de fermer.

Art. 17. — Il est enjoint à tous propriétaires, locataires et concierges de faciliter aux préposés de l'administration toutes visites ayant pour but de s'assurer de l'état des fosses et de leurs dépendances.

Fosses mobiles. — Ordonnance de police du 5 juin 1834

Art. 28. — Il ne pourra être établi dans Paris, en remplacement des fosses d'aisances en maçonnerie, ou pour en tenir lieu, que des appareils approuvés par l'autorité compétente.

Art. 29. — Aucun appareil de fosse mobile ne pourra être placé dans toute fosse supprimée dans laquelle il reviendrait des eaux quelconques.

Art. 32. — Aucun appareil de fosse mobile ne pourra être placé dans Paris sans une déclaration préalable. Il sera joint à cette déclaration un plan de la localité où l'appareil devra être posé, et l'indication des moyens de ventilation.

Art. 33. — Les appareils devront être établis sur un sol rendu imperméable jusqu'à 1 mètre au moins au pourtour des appareils, autant que les localités le permettront et disposé en forme de cuvette.

Puits et puisards. — Ordonnance de police du 20 juillet 1838

Art. 1er. — *Percement, établissement de construction.* — Aucun puits, soit ordinaire, soit d'absorption, ne sera percé, aucune opération d'approfondissement, de sondage et autres ne sera entreprise, aucun

puisard ne sera établi sans une déclaration préalable. Cette déclaration indiquera l'endroit où l'on a le projet de faire les travaux.

Art. 2. — *Curage.* — Il ne pourra être procédé à aucun curage de puits ou de puisards sans une déclaration préalable qui sera faite par écrit, quarante-huit heures à l'avance. Les mesures nécessaires dans l'intérêt de la salubrité et de la sûreté des ouvriers seront prescrites par suite de cette déclaration.

Instructions générales. — Tout appareil de fosse mobile doit reposer sur un sol imperméable et disposé en forme de cuvette.

Le caveau à cet usage sera construit et voûté en maçonnerie, étanche au pourtour, et pourvu de moyens de ventilation, disposés de manière à prévenir toute cause d'incommodité pour le voisinage. Il aura au moins 2 mètres de hauteur et sera assez spacieux pour que le service des appareils y soit facile.

Lorsque ce caveau sera en sous-sol, l'ouverture en sera fermée au moyen d'une trappe en bois suffisamment solide, d'une manœuvre facile et munie d'un anneau en fer. Cette fermeture sera toujours en dehors du cabinet d'aisances.

Tout cabinet d'aisances sera clos et couvert, clair et aéré. L'emplacement aura des dimensions qui permettent de s'y mouvoir aisément. Le sol sera imperméable et disposé de manière que les liquides aient leur écoulement dans la fosse. Le siège sera à lunette dans les conditions d'usage, avec fermeture hermétique.

Tout puisard, qu'il soit absorbant ou étanche, doit : — être construit et voûté en maçonnerie ; — avoir au moins 2 mètres de profondeur sous clef ; — être pourvu d'une ouverture d'extraction de 1 mètre de longueur sur 65 centimètres de largeur; et avoir son entrée d'eau munie d'un appareil quelconque formant siphon.

L'administration municipale a prescrit les dispositions suivantes, pour l'exécution des fosses d'aisances dans Paris :

Le radier des fosses d'aisances doit être établi à $0^m,10$ en contre-haut de celui de l'origine du branchement d'égout, contre le mur de façade de la maison.

Les demandes en autorisation de construction de fosses d'aisances dans les anciennes maisons sont transmises à l'inspecteur des égouts, qui fixe le niveau minimum du radier à $3^m,60$ en contre-bas du trottoir, près de la maison, quand il n'existe pas d'égout public dans la rue.

Lorsqu'il existe un égout dans la rue, la demande est transmise par l'inspecteur des égouts à l'ingénieur de la section, qui indique l'altitude du radier de l'égout public, vis-à-vis les deux angles de la maison, et, s'il y a un embranchement d'égout, l'altitude de son radier contre le mur de face. L'inspecteur fixe ensuite l'altitude minimum du radier de la fosse à construire à $0^m,40$ en contre-haut du radier de l'égout public, s'il n'y a pas de branchement, et, s'il en existe un, à $0^m,10$ en contre-haut de son radier près du mur de face.

Voir plus loin, au chapitre *Assainissement*, les dispositions nouvelles et les règlements relatifs au « tout à l'égout ».

Égouts. — L'administration de Paris a adopté les dispositions suivantes, pour la construction des égouts.

1° *Égouts publics.* — Dans les rues de 20 mètres de largeur et au dessus, il sera établi un égout sous chaque trottoir. La distance de l'alignement des maisons au parement extérieur de la maçonnerie, à la hauteur de la naissance de la voûte de l'égout, doit être au moins de $0^m,60$. Les rues de moins de 20 mètres de largeur seront pourvues d'un seul égout construit dans l'axe de la rue.

Les épaisseurs de maçonnerie généralement adoptées pour la construction des égouts ont été données p. 475. Les anciens types d'égouts adoptés à Paris peuvent se résumer dans les trois catégories suivantes :

1° Les *collecteurs principaux*, à cunette de 1 mètre de profondeur au moins, dont le curage s'opère au moyen de bateaux-vannes, et dont la section intérieure varie de $11^{m2},40$ à $18^{m2},70$ et la pente du radier de $0^m,30$ à $0^m,50$ par kilomètre ;

2° Les *collecteurs ordinaires*, à cunette de $0^m,80$ de profondeur au moins, dont le curage s'opère au moyen de wagons-vannes guidés par des rails fixés sur les bords de la cunette, et dont la section intérieure varie de $4^{m2},25$ à $11^{m2},40$, et la pente du radier de $0^m,50$ à 5 mètres par kilomètre.

3° Les *égouts sans cunette*, dont la section intérieure varie de $2^{m2},45$ à $3^{m2},30$, et dont la pente du radier, qui est de $1^m,50$ au moins par kilomètre pour les égouts qui reçoivent peu d'eau, peut être portée jusqu'à 50 mètres, et même jusqu'à 80 mètres par kilomètre pour les galeries de peu de longueur.

Les égouts doivent être établis de manière que le dessus de l'extrados de leur voûte se trouve à 1 mètre au moins au-dessus de la face inférieure des pavés ou du macadam formant la chaussée ; dans des cas exceptionnels et sur de très petites longueurs, ce minimum peut descendre à $0^m,40$.

Les eaux sont conduites dans les égouts par les ruisseaux et caniveaux qui aboutissent à l'entrée des *bouches d'égouts*, qu'on place aux points bas des rues. Ces bouches se composent d'un couronnement en granit évidé continuant la bordure du trottoir, et d'une *bavette*, en granit, posée à la hauteur des caniveaux sur la partie supérieure des murs d'une cheminée verticale de chute. Cette cheminée, dont la section a 1 mètre sur $0^m,45$, aboutit à une galerie qui la met en communication avec l'égout public. Cette galerie, ou *branchement de bouche*, a $1^m,40$ sous clef, $0^m,80$ aux naissances de la voûte, qui est en plein cintre, et $0^m,50$ au radier.

Le service intérieur des égouts se fait au moyen de regards établis tous les 50 mètres.

Lorsque l'égout est construit sous le trottoir, les regards se composent d'une cheminée verticale sur l'axe de l'égout, 0m,90 de côté ; elle est terminée à la surface du sol par une trappe en fonte composée d'un châssis fixe et d'un tampon mobile de 0m,80 de diamètre.

Quand l'égout est sous la chaussée, la cheminée de regard se trouvant sous le trottoir, on établit, pour la communication avec l'égout, une galerie ou *branchement de regard*, de 2 mètres de hauteur sous clef, 1 mètre de largeur aux naissances et 0m,50 de largeur au radier.

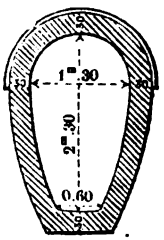


Fig. 458. — Branchement particulier d'égout.

Lorsque la profondeur de la fouille le permet, on place le châssis à trappe à 0m,50 au plus au-dessus de l'extrados de la voûte du branchement de regard, et l'on rachète par plusieurs gradins la différence de niveau existant entre le radier du branchement de regard et celui de l'égout public. Ces gradins, qui ont 0m,15 à 0m,20 de hauteur sur 0m,40 à 0m,50 de largeur, sont utiles pour le garage des égoutiers dans les temps d'orage.

Lorsque la pente dépasse 10 mètres par kilomètre, les égouts les plus petits, ceux de 2m²,45 à 3 mètres carrés de section, sont presque toujours suffisants pour débiter l'eau du bassin à desservir ; mais la disposition qui prescrit de poser toutes les conduites d'eau en égout oblige, dans la plupart des cas, d'avoir recours à des dimensions plus grandes, qui permettent de recevoir une ou plusieurs conduites d'eau dont les diamètres peuvent varier de 0m,10 à 1m,10.

Réglementation de la construction et de l'entretien de branchements particuliers d'égouts (ARRÊTÉ DU PRÉFET DE LA SEINE DU 16 JUILLET 1895).

ART. 1er. — Les branchements particuliers d'égout sont construits et entretenus aux frais des propriétaires intéressés.

Un branchement particulier d'égout ne peut desservir qu'une seule propriété. Mais une propriété peut être desservie par autant de branchements qu'il est nécessaire.

ART. 2. — En règle générale, les branchements particuliers d'égout doivent être exécutés en maçonnerie de meulière et mortier de ciment, conformément aux dispositions observées pour la construction des égouts publics et présenter les dimensions ci-après :

Hauteur sous clef	1m,80
Largeur aux naissances	0 90
Largeur au radier	0 50

Epaisseur de la maçonnerie (non compris chape et enduits), 0m,20. Chaque branchement doit être d'ailleurs fermé à l'aplomb de l'égout

public par un mur de 0m,30 d'épaisseur au moins, en maçonnerie de meulière et ciment, avec enduit de part et d'autre, qui présentera du côté de l'immeuble un parement vertical et du côté de l'égout épousera le profil du pied-droit jusqu'à la naissance de la voûte, pour se prolonger ensuite verticalement jusqu'à la rencontre de la voûte du branchement dont la pénétration restera dès lors apparente à l'intérieur de l'égout. Une plaque en porcelaine portant le numéro de l'immeuble sera scellée dans l'enduit qui recouvrira le parement du mur à l'intérieur de l'égout. Une ventouse placée sur la façade de la maison mettra l'air du branchement en communication avec celui de la rue.

Art. 3. — Tous les écoulements d'eaux pluviales et usées de l'immeuble doivent être ramenés dans le branchement particulier, par une canalisation qui sera prolongée jusqu'à l'aplomb de la paroi intérieure de l'égout public.

A cet effet, les prolongements des tuyaux d'eaux pluviales et ménagères des façades devront être ramenés à l'intérieur de l'immeuble pour y être branchés sur la canalisation générale. C'est seulement en cas d'impossibilité matérielle par suite de la disposition des lieux qu'on en tolérera l'établissement sous trottoir en tuyaux de fonte épaisse de 0m,15 de diamètre intérieur au moins avec joints en plomb et sous le maximum de pente disponible, sans que l'inclinaison puisse jamais être inférieure à 0m,03 par mètre.

Si cette dernière condition ne pouvait être remplie, il devrait être établi des branchements supplémentaires.

Art. 4. — Dans les voies de petite circulation, classées en 2e catégorie et pour les propriétés d'un revenu imposable inférieur à 3.000 francs, le branchement, au lieu d'être établi en maçonnerie, pourra être formé d'un tuyautage en fonte épaisse, posé dans les conditions définies à l'article précédent et reliant directement l'immeuble à l'égout public, si toutefois la nature du sol le permet.

La même disposition s'appliquera aux branchements supplémentaires, quand ils n'auront à écouler que les eaux pluviales et ménagères des façades.

Art. 5. — Au droit de toute *voie privée*, le branchement sera constitué par un tronçon d'égout d'un des types en usage du service municipal, qui sera établi à partir de l'égout public dans l'intérieur de la voie privée et suffisamment prolongé au-delà de l'alignement pour recevoir toutes les eaux usées sans qu'aucun ouvrage soit établi à cet effet sur la voie publique. Ce tronçon d'égout sera ouvert du côté de l'égout public, raccordé audit égout par une partie courbe dirigée dans le sens de l'écoulement, fermé à l'extrémité amont par un mur pignon et pourvu en tête d'un réservoir de chasse.

Il sera toujours étudié en vue de son extension ultérieure sur toute la longueur de la voie privée.

Une grille pourra être exigée à l'aplomb de l'alignement pour intercepter la communication de l'égout privé avec l'égout public.

Art. 6. — Les projets des branchements particuliers seront dressés par les ingénieurs du service municipal aux frais de l'administration et d'après les indications fournies par les propriétaires.

Art. 7. — Lorsqu'une partie quelconque d'un branchement en maçonnerie rencontrera une conduite de gaz préexistante, celle-ci devra tou-

jours être isolée par un manchon en fonte, dont le propriétaire devra supporter les frais. Des mesures analogues seront prises en ce qui concerne les canalisations électriques.

Art. 8. — Tout branchement entrepris isolément sera exécuté par l'entrepreneur du choix du propriétaire.

Art. 9. — Les travaux seront soumis à la surveillance des ingénieurs de la ville de Paris.

Si un entrepreneur n'observe pas quelqu'une des clauses et prescriptions visées, notamment dans le cas où, après avoir ouvert une tranchée sur la voie publique, il abandonnerait le travail commencé, l'ingénieur donnera avis de l'état de choses au propriétaire ou à son représentant, et pourra, après un ordre de service notifié à l'entrepreneur et non suivi d'appel dans les 24 heures, soit faire remblayer la tranchée, soit confier la continuation des travaux à l'entrepreneur de l'administration.

Art. 10. — Faute par le propriétaire d'entreprendre les travaux ou de se conformer aux conditions qui lui auront été prescrites et 8 jours après une mise en demeure restée sans effet, les ingénieurs pourront procéder d'office à l'exécution des travaux qui sera confiée aux entrepreneurs de l'administration.

Les dépenses avancées par elle dans ce cas et dans celui de l'article précédent seront recouvrées sur le propriétaire.

Art. 11. — Les branchements à construire par mesure collective dans une rue ou portion de rue seront confiés à un entrepreneur unique désigné d'avance par voie d'adjudication publique.

Les propriétaires resteront libres de faire exécuter par des entrepreneurs de leur choix les travaux de canalisation intérieure. Mais ces travaux devront être terminés 20 jours au plus après les branchements ; après ce délai, les gargouilles des trottoirs pourront être enlevées d'office.

Chaque propriétaire paiera directement à l'entrepreneur la dépense qui lui incombe, après vérification et règlement sans frais du métré des ouvrages, s'il le demande, par l'ingénieur qui aura surveillé l'exécution des travaux.

Art. 12. — Les raccordements et la réfection définitive des chaussées, trottoirs et dallages, au-dessus des tranchées, seront faits par les entrepreneurs de l'administration pour la voie publique. La dépense en sera payée par la ville et remboursée par le propriétaire. Les dépenses faites d'office par application des articles 9 et 10 seront recouvrées en même temps que les frais de raccordements.

Le métrage des divers travaux et le décompte des dépenses seront notifiés préalablement à chaque propriétaire qui aura 10 jours, après cette notification, pour présenter ses observations au bureau de l'ingénieur ordinaire. Ce délai expiré, il sera passé outre à l'émission de l'arrêté de recouvrement.

Art. 13. — L'entretien des branchements et de leurs accessoires sous la voie publique reste à la charge des propriétaires. Les travaux d'entretien seront soumis aux règles stipulées ci-dessus pour la construction des branchements isolés.

Les propriétaires devront tenir constamment les branchements en parfait état de propreté et faire enlever les eaux qui pourront s'y amasser. Ils ne devront y faire aucun dépôt.

Ils seront tenus d'y donner accès à toute heure du jour aux agents de l'administration.

Ils ne pourront élever aucune réclamation dans le cas où les branchements seraient traversés à une époque quelconque postérieure à leur établissement par des conduites d'eau ou de gaz, ou des canalisations électriques, ou atteints et modifiés de quelque manière que ce soit par des entreprises d'intérêt général.

Art. 14. — Chaque propriétaire est responsable des conséquences de l'établissement, de l'existence et de l'entretien des ouvrages construits, tant à l'extérieur qu'à l'intérieur pour le drainage de son immeuble.

Dans le cas où un accident viendrait à se produire, le propriétaire est tenu d'en donner immédiatement connaissance aux agents de l'administration.

Art. 15. — Les branchements actuellement existants, en communication avec les égouts publics, devront être successivement murés au droit de l'égout, conformément aux prescriptions de l'article 2.

Cette modification sera effectuée lors du premier travail de modification ou d'entretien, et au plus tard avant 10 ans.

Les tuyaux de concession d'eau seront placés dans les branchements d'égouts particuliers, dès que ceux-ci seront construits. Alors les robinets d'arrêt des tuyaux doivent être manœuvrés sous bouche à clef, et pour que la clef n'ait pas une longueur exagérée, il est nécessaire que la distance entre l'extrados de la clef de voûte du branchement et le sol du trottoir ne dépasse pas $1^m,30$. Quand cette distance doit être dépassée, on élève le branchement particulier par un nombre suffisant de gradins, ou, si cette disposition n'est pas possible, on élève la voûte du branchement sur une longueur de 1 mètre contre le mur de façade, de manière à former une cheminée disposée de telle sorte que la conduite d'eau ne s'y trouve pas à plus de $1^m,30$ en contre-bas de la surface du sol.

Caves. — Les caves doivent être *sèches* et creusées assez profondément en terre pour que leur température se maintienne entre 12° et 14° C.

Construction des caves. — Lorsque les fouilles d'un bâtiment en construction sont arrivées à la profondeur du sol des caves, indiqué sur le plan, si l'on est sur un terrain solide, on se borne à fouiller, à $0^m,25$ ou $0^m,30$ en contre-bas de ce sol, les rigoles pour la fondation des gros murs. Si le sol n'offre pas une résistance suffisante, on le consolide.

Si le terrain est humide, il faut creuser le sol des caves de $0^m,30$ à $0^m,40$, suivant la pression d'eau, et faire un *radier* en béton de cette épaisseur avant de construire les murs. Ce radier peut même être consolidé par une voûte renversée de 1/2 brique d'épaisseur, dont les butées seraient sur les murs. Par surcroît de précaution, pour assurer l'étanchéité, on fait avant la voûte

un enduit au ciment ou béton hydraulique et on en fait un deuxième au-dessus de la voûte. Les murs sont garnis d'un enduit de ciment.

Quand les fondations des murs sont remplies jusqu'à la hauteur du sol des caves, le chef d'atelier place les *broches* pour ériger les murs de face et ceux de refend, qui servent ordinairement de pieds-droits aux voûtes; il trace sur l'arase des fondations les baies de portes, et il fait commencer la pose des marches d'escalier des caves.

Les fausses *encoches* qui peuvent exister sur les broches doivent être enlevées avec soin, afin que les ouvriers n'y placent pas leurs lignes.

La hauteur des naissances des voûtes et des pénétrations dans ces derñières, pour portes ou couloirs, doit être parfaitement déterminée, afin de ne pas être obligé de déraser. Surtout lorsque les maçonneries des murs pieds-droits sont en moellons piqués, l'ouvrier doit apporter toute son attention à bien araser les naissances, et, lorsque cette opération est terminée, on procède à l'établissement des voûtes.

Le charpentier, ou le maçon, commence par poser les fermes de cintres, et faire un échafaud en plaçant des planches sur les entraits de ces fermes. Le maçon construit la voûte en ne posant les couchis qu'au fur et à mesure que le travail avance.

Tous les moellons, formant voûte, doivent être posés à bain de mortier et fortement affermis avec la hachette; il doit en être de même des contre-clefs, et surtout de la clef. On doit préférer pour les voûtes le hourdage en mortier à celui en plâtre.

Pour les petites voûtes d'arête ou en arc de cloître provenant de pénétrations de portes, l'ouvrier commence par faire, pour servir de cintre, un pâté en garnis posés à sec, qu'il recouvre d'une couche de plâtre sur laquelle il trace les joints des moellons, si ces derniers sont piqués.

Les voûtes de caves étant fermées, on remplit leurs reins de moellonnailles, recoupes de pierres ou autres menus matériaux qui se trouvent sur le chantier, et que l'on doit avoir soin d'enfoncer dans le mortier en les frappant avec la hachette. Ce remplissage s'arase ordinairement de niveau au-dessus de l'extrados de la voûte, afin de pouvoir poser dessus le carrelage formant le sol, ou les lambourdes sur lesquelles on veut fixer un plancher ; c'est cette dernière disposition qu'indique la figure 462, qui représente la coupe verticale d'une cave dont la fondation d'un mur de face forme un pied-droit, et celle d'un mur en retour, également de face, forme un pignon.

Fondations de caves. — La figure 459 représente la coupe de *caves* dont le fond de la fondation doit être établi en XY, et destinées à un bâtiment à ériger sur un terrain argileux, dont la

pente est figurée par la ligne BC. Il faudra commencer par établir en amont des caves et devant le mur à fonder JK, un canal de drainage D, percé d'ouvertures G du côté amont opposé au bâtiment, et parfaitement étanche du côté J; en observant que le radier I de ce canal soit sensiblement en contre-bas du fond JY des fondations, et que la pente en soit assez rapide et d'une longueur assez grande pour rejeter au loin les eaux recueillies dans ce canal. Cette dérivation des eaux combattra l'humidité des caves, évitera le salpêtrage de leurs murs et aussi celui des premières assises du soubassement K.

Si les ressources ne permettent pas de faire le canal de drainage, il faut descendre les fondations du mur en amont (*fig.* 460) à un niveau inférieur au-dessous des fondations du mur en aval. Il faudra appliquer, sur la face *extérieure* du mur

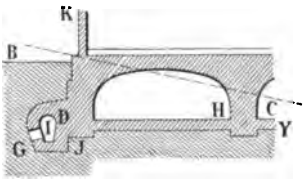


Fig. 459.

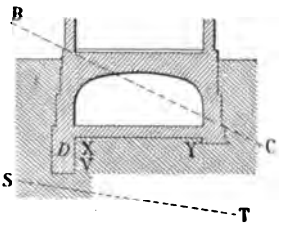


Fig. 460.

d'amont, une couche de ciment romain, en la continuant un peu sur le bord des murs extérieurs en retour du mur; et, autant que possible, il est bon d'asseoir ce mur sur une couche de béton hydraulique, bien reliée à cet enduit. La couche d'argile (*fig.* 460) restera sèche, parce que les eaux seront forcées de s'écouler suivant la direction ST.

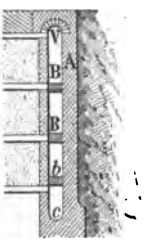


Fig. 461.

Un moyen de rendre *secs et sains* les locaux à établir en contrebas du sol consiste à bâtir un contre-mur isolant A (*fig.* 461) et à laisser un vide V entre ce contre-mur et le mur du local souterrain à préserver de l'humidité. Ces deux murs doivent être isolés l'un de l'autre et reliés entre eux, par des boutisses B, B, B, en briques ou en moellons, posées en quinconce, pour maintenir l'écartement des deux murs en empêchant le contre-mur de céder sous la pression des terres. Il faut établir à un niveau inférieur au sol intérieur, et même au pied de la fondation, un caniveau C, dont la pente rejette les pleurs s'infiltrant par de petites ouvertures ménagées dans le contre-mur pour les recueillir.

Pénétrations dans les voûtes des caves. — Dans la figure 462, à l'échelle de $0^m,01$ pour mètre, on a réuni les pénétrations qui se rencontrent le plus souvent. Ce sont : 1° un soupirail S dans le pied-droit de la voûte ; 2° un soupirail S′ dans le pignon ; 3° une

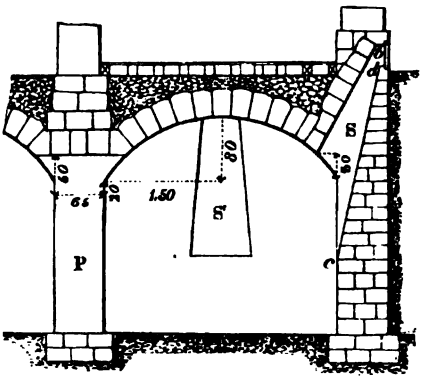


Fig. 462.

porte de communication P de 1 mètre de largeur, voûtée en plein cintre et pénétrant dans la grande voûte.

Nous avons indiqué la manière d'établir les petites voûtes de pénétration couronnant une porte de communication ; examinons la manière de procéder pour établir un soupirail ordinaire, c'est-à-dire un de ceux de la figure 462, celui pratiqué dans le pied-droit par exemple. Dans presque tous les soupiraux il existe des plans inclinés qui nécessitent la pose de quatre lignes pour guider l'exécution.

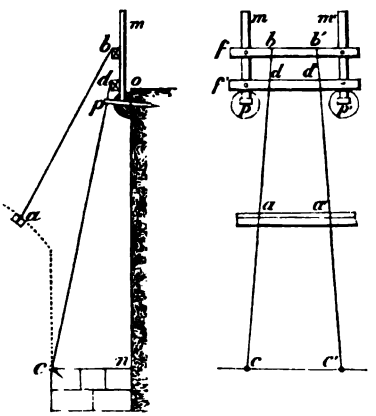


Fig. 463.

La partie de mur supérieure à la naissance c du soupirail n'étant pas construite (*fig.* 462 et 463), on commence par établir cette naissance parfaitement de niveau ; ensuite on place deux broches horizontales *f*, *f′* de manière que leurs arêtes intérieures et supérieures se trouvent dans un même plan, et qu'elles coïncident avec les arêtes supérieures *b* et *d* des plans inclinés du soupirail. Deux petits montants *m*, *m′*, fixés sur des petits

piquets *p*, *p'*, enfoncés dans la berge *on* de la fouille, et consolidés par des patins en plâtre, maintiennent les broches dans leur position. Cela fait, on marque par des encoches, *b*, *b'* et *d*, *d'*, sur les broches *f*, *f'*, la largeur du soupirail à sa partie supérieure, et par des clous implantés dans la maçonnerie, en *c*, *c'*, la largeur à la partie inférieure. On tend deux lignes *cd* et *c'd'* ; elles guident la pose des moellons formant le plan incliné inférieur *cd* du soupirail, et elles déterminent les angles rentrants inférieurs *cd* et *c'd'*. On détermine aussi la position du plan incliné supérieur du soupirail et de ses angles rentrants par deux lignes *ab* et *a'b'*, fixées par une extrémité à la broche supérieure *f*, et par l'autre à des clous implantés en *a* et *a'* dans les couchis du cintre de la voûte de la cave. Les quatre lignes étant ainsi tendues, il est très facile de réserver les quatre faces du soupirail en construisant les pieds-droits de la voûte et la voûte elle-même.

Quand les voûtes sont légères et qu'elles ont très peu de flèche, on donne au plafond supérieur du soupirail la forme d'une voûte conique qui vient pénétrer dans la voûte de la cave.

Étanchement des caves. — Un moyen d'étancher les caves consiste, s'il s'agit d'une cave neuve à construire, à fouiller entièrement le sol, jusqu'à une profondeur de $0^m,25$ ou $0^m,30$, suivant la charge d'eau, et à remplir toute l'excavation par un radier en béton hydraulique. Cela fait, on construit les murs en bons matériaux hourdés en mortier hydraulique, et l'on recouvre les parois intérieures de la cave d'un enduit de $0^m,04$ à $0^m,05$ d'épaisseur en mortier de ciment Gariel, composé de trois parties de ciment pour deux parties de sable. Enfin, sur le radier en béton, on établit une voûte plate renversée, ayant $0^m,03$ ou $0^m,04$ de flèche par mètre de corde, et une épaisseur ou deux rangs de briques posées à plat; cette voûte est hourdée en mortier de ciment, et on la recouvre d'un enduit semblable à celui des parois.

Si c'est une ancienne cave qu'on veut rendre sèche, on fouille le sol pour établir le radier en béton et la voûte renversée. Quant aux murs, si les maçonneries sont bonnes, il suffit de les dégrader et nettoyer ; si les murs sont en mauvaise maçonnerie, on les hache sur une certaine épaisseur, et on érige dessus un contre-mur en briques ou des parpaings posés en mortier de ciment, et c'est sur ce contre-mur, comme sur le radier, qu'on applique l'enduit au ciment.

Dans quelques localités, pour sécher les caves, on garnit le derrière des murs de la cave, depuis le bas des fondations jusqu'au niveau du terrain extérieur, d'un contre-massif de $0^m,30$ à $0^m,40$ d'épaisseur en glaise corroyée et pilonnée ; on établit également sur le fond de la cave un massif en glaise de $0^m,50$ d'épaisseur,

sur lequel on pose un radier en maçonnerie de moellons, hourdée en mortier ordinaire de chaux et de ciment de tuileaux.

Les Anglais ont imaginé le système suivant pour éviter l'humidité du sol. On creuse profondément les fondations, on assèche le sol, on établit tout autour un système de drainage débouchant dans un égout, et l'on élève au milieu de l'excavation la construction, dont les caves seront entourées d'une sorte de fossé circulaire appelé aire ou *area* (*fig.* 464), dont le talus sera revêtu d'une couche

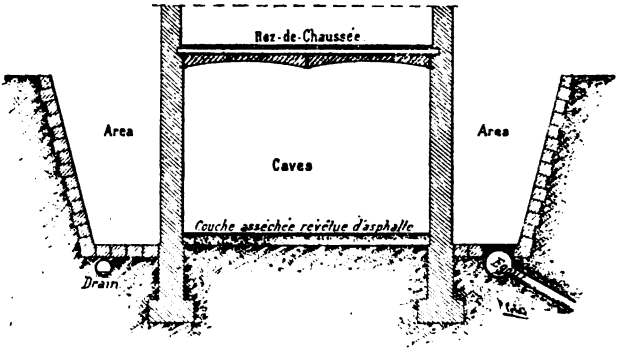


Fig. 464.

de maçonnerie. La maison jusqu'au niveau de ses fondations sera ainsi entourée d'air atmosphérique, et le rez-de-chaussée à l'abri absolu de l'humidité du sol.

Humidité dans les logements. — La nappe d'eau souterraine envahit souvent les caves. A défaut de drainage, l'humidité ne peut être efficacement combattue que par l'emploi de pierre meulière hourdée en mortier de ciment et par le revêtement extérieur et intérieur des caves en ciment hydraulique.

Souvent l'humidité est due à l'absence ou à l'insuffisance de jour et d'air, à la mauvaise qualité ou à la vétusté des matériaux, à l'habitation des locaux nouvellement construits ou fraîchement réparés, à la situation des logements en contre-bas du sol ou sur terre-plein, au mauvais état du carrelage ou du parquet, aux infiltrations des eaux de pluie par les toitures en mauvais état, au voisinage de terrains en contre-haut, de réservoirs ou de fuites de canalisation d'eau.

Voici les prescriptions proposées pour remédier aux divers cas d'humidité :

Hachement des enduits des murs sur tout ou partie de la hauteur, dégradation des joints, réfection des joints au ciment ;

Revêtement des murs sur tout ou partie de la hauteur en

planches de 27 millimètres d'épaisseur, assemblées à rainure et languette, goudronnées sur la face murale et posées sur tasseaux goudronnés, avec trous d'aération dans les planches en haut et en bas.

Peinture à l'huile du revêtement et du restant de la hauteur de la pièce ou collage de papier de tenture.

Dans certains cas, application d'enduits hydrofuges ou contre-mur en briques.

Relèvement des planchers qui sont en contre-bas du sol, quand la hauteur du plafond le permet ou que celui-ci peut être lui-même surélevé.

On fait usage aussi de plaques asphaltées faites de papier, de carton ou de feutre asphalté et de chanvre bitumé. On vend ces plaques de toutes longueurs, sur $0^m,81$ de largeur. On peut obtenir ainsi des surfaces isolantes indéfinies en les posant à recouvrement de $0^m,05$ entre la fondation d'un bâtiment et la maçonnerie destinée à s'élever au dessus (ou encore entre l'extrados d'une voûte et sa charge). Par leur ductilité et leur flexibilité, ces plaques ne se rompent et ne se crevassent pas, lorsqu'on a la précaution d'araser la maçonnerie avant leur pose, au moyen d'une assise lissée de pierre ou de briques. On applique encore ces plaques, comme préservatif contre l'humidité, aux murs. Le chanvre bitumé s'emploie aussi pour couverture de toitures.

L'ardoise s'emploie comme obstacle à l'humidité des sous-sols. Les murs des nouvelles constructions, dans les lieux humides, se couvrent souvent d'une substance cristalline (*salpêtre*), qui se fait jour à travers les couches de la peinture, qui tombe en écailles. On évite en partie cet effet désastreux en proscrivant l'emploi de l'eau et du sable de mer pour faire le mortier. D'après Kuhlmann, la silicatisation des mortiers empêche le salpêtrage et combat efficacement l'humidité des murs (Voir *Silicatisation*).

Rez-de-chaussée. — Un rez-de-chaussée, pour être sain, doit être élevé de plusieurs marches au-dessus du sol extérieur, et placé sur des caves voûtées ou des cuisines assainies.

On peut préserver les rez-de-chaussée de l'humidité par une légère élévation au-dessus du sol et une couche isolante de bitume ou de ciment, laquelle, tenant toute l'épaisseur et la longueur des murs, empêche l'humidité de monter; un courant d'air, en circulant entre les lambourdes supportant le plancher, maintient une sécheresse permanente et empêche la fermentation ou la décomposition du bois.

Les voûtes de caves étant fermées, et leurs reins remplis, on procède à l'implantation des murs du rez-de-chaussée du bâtiment. Le chef d'atelier pose les broches et tend les lignes ; il trace les baies des portes, ainsi que celles des croisées, dont les allèges sont montées après coup; il trace également les saillies

des avant-corps et des pilastres, ainsi que les emplacements de piliers, quand il y en a; il érige les cheminées, en faisant *monter*, c'est-à-dire construire, leurs jambages en plâtras ou en briques, quand toutefois les coffres doivent être en saillie sur les murs: car, lorsque les coffres sont réservés dans l'épaisseur des murs, leurs jambages ne se construisent qu'en faisant les cheminées ; on établit seulement un petit arceau pour supporter la languette de face qui affleure le mur. Des tuyaux de cheminée se réservent au fur et à mesure qu'on monte les murs dans lesquels ils se trouvent.

Pour les baies de portes et de croisées, le maître compagnon fait faire sur le mur, à l'emplacement des jambages, avec une poignée de plâtre, des petits enduits sur lesquels il fait plus facilement le tracé complet des baies, tableaux, feuillures et embrasements (*fig.* 465). L'ouvrier doit ensuite ériger le mur en tenant la maçonnerie à $0^m,02$ ou $0^m,03$ du contour du tracé, afin de laisser une *charge* ou épaisseur de plâtre nécessaire au ravalement. Lorsque les lignes sont posées et les ouvertures tracées, on commence la maçonnerie des murs de face et de refend.

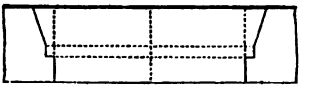


Fig. 465.

Lorsque le socle d'un bâtiment est en pierre, on procède en même temps à sa construction et à la pose des parpaings destinés à supporter les pans de bois de séparation.

Quand tous les murs sont élevés à $1^m,50$ au-dessus du sol du rez-de-chaussée, les ouvriers établissent les échafauds, qu'ils chargent de matériaux, et ils continuent à monter les murs jusqu'à la hauteur du dessous des linteaux des croisées. Ils posent ces linteaux de niveau et élèvent les murs jusqu'à la hauteur du dessous des solives du premier plancher. Pour déterminer la position du dessous des linteaux et celle du dessous des solives, le maître compagnon doit faire à l'intérieur du bâtiment, un nivellement général, qu'il rapporte sur les murs en traçant une ligne avec la pierre noire à 1 ou 2 mètres en contrebas de l'arase du plancher. En se guidant sur cette ligne, et en jaugeant avec une règle de 1 ou 2 mètres de longueur, le maçon parvient à araser les murs, sur lesquels on pose alors les linteaux ou les solives. Parfois, afin d'obtenir plus de régularité dans l'arase des murs, et de poser les solives mieux de niveau dans tous les sens, le maçon fait une arête en plâtre à la hauteur du dessous des solives.

Lorsque les solives sont posées, on les scelle en remplissant les intervalles qui les séparent dans l'intérieur des murs, et on arase tous les murs du bâtiment à la hauteur du dessus des solives.

Quelquefois on fait de suite les augets des plafonds et les bandes des trémies, ainsi que les pigeonnages des cheminées qui sont en saillie sur les murs; mais ces travaux sont ordinairement faits lors du ravalement intérieur.

Étages supérieurs. — Les murs étant arasés au niveau de dessus des solives du premier plancher, les ouvriers posent les échasses devant les parements extérieurs des murs, et placent les premiers rangs de boulins à la hauteur de l'arase. Quand les baies des portes et croisées sont à l'aplomb de celles du rez-de-chaussée, on détermine les positions de leurs axes au moyen du fil à plomb, puis on en fait le tracé. Les ouvriers continuent à élever les murs et à hourder les pans de bois jusqu'à la hauteur des linteaux des portes et croisées, et à celle du dessous des planchers, où ils font une arase ; on pose les linteaux et les solives comme à l'étage inférieur, et on arase au-dessus des solives.

Harpes.— *Précautions dans l'exécution de la maçonnerie.*-- Lorsque les jambages des portes croisées sont en maçonnerie de moellons, l'ouvrier doit superposer un carreau ou mieux un parpaing et deux boutisses (*fig.* 466), et les boutisses extérieures se mettent un peu en saillie pour préparer la feuillure. On prend les mêmes précautions lorsque, à un mur qu'on élève d'aplomb, doit se rattacher un autre mur que l'on construira plus tard ; c'est ce qu'on voit faire aux angles des maisons qu'on élève isolées, et auxquelles on doit, par la suite, relier des constructions voisines.

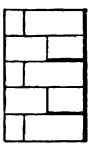


Fig. 466.

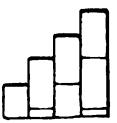


Fig. 467.

Ainsi posées en saillies, les boutisses prennent le nom de *harpes.* En parlant de leur pose, on dit *lâcher harpes.*

Lorsque la construction d'une partie seulement d'un mur doit être ajournée pendant quelque temps, on pose les moellons de raccordement successivement en retraite, comme l'indique la figure 467 ; c'est ce qu'on nomme *déharper ;* on dit encore poser en *déharpement.*

Quand on démolit un mur ou une façade, on forme des arrachements, c'est-à-dire qu'on conserve des pierres saillantes pour établir une liaison avec les reprises qu'on pourra exécuter ultérieurement.

Enfin, quand on veut joindre un mur à un autre mur déjà construit, on est obligé, si l'on n'a pas pris la précaution de poser des harpes, pour relier la maçonnerie nouvelle avec l'ancienne, de faire dans cette dernière des trous appelés *arrachements,* dans lesquels on scelle des moellons de la maçonnerie neuve.

Tuyaux de cheminées. — Ordinairement ces tuyaux s'élèvent en même temps que la maçonnerie des murs. Quand ils sont en

saillie sur les murs, on les fait au moyen de languettes en briques, et on leur donne 0m,11 d'épaisseur, ou avec des languettes pigeonnées en plâtre de 0m,07 à 0m,08 d'épaisseur.

Les tuyaux de cheminées ont ordinairement de 0m,40 à 0m,60 de longueur sur 0m,24 à 0m,30 de largeur. Dans la figure 468, le tuyau B ne fait pas saillie sur le mur; la cheminée A, de l'étage supérieur, se place à côté du tuyau montant B de l'étage inférieur, et l'on fait monter son tuyau à côté du premier; les séparations s'exécutent au moyen de languettes en briques. La figure 468 montre la disposition donnée à l'*enchevêtrure* pour recevoir la *trémie* sur laquelle doivent reposer les jambages et le foyer de la cheminée, et pour isoler les pièces de bois des tuyaux montants des étages inférieurs.

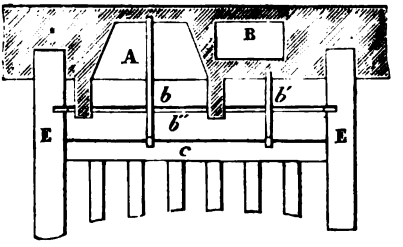


Fig. 468.

La trémie, formée de barres de fer, se remplit ordinairement de matériaux très légers, afin de charger le moins possible les *chevêtres* et les *solives d'enchevêtrures;* on fait le plus souvent usage de plâtres blancs, de moellons tendres et secs, de morceaux de briques ou de poteries, que l'on hourde à bain de plâtre. Pour augmenter l'adhérence du remplissage aux chevêtres et aux solives, l'ouvrier lance dans ces pièces, dans les parties qui seront couvertes, de forts rappointis en fer.

Les bandes de trémies sont posées par le serrurier ; celles transversales, *b*, *b'*, reposent d'un bout sur le mur ou la languette ; l'autre extrémité se recourbe pour venir reposer sur le chevêtre en charpente *c*. Quant à la grande barre longitudinale *b''*, elle est soutenue dans sa longueur par les deux premières, et elle se recourbe à ses extrémités pour reposer sur les solives d'enchevêtrure E, E.

Lorsque les tuyaux sont réservés dans l'épaisseur des murs, on les construit de plusieurs manières :

1° On les fait rectangulaires, avec des languettes en briques de 0m,11 d'épaisseur, que l'on relie à la maçonnerie des murs, au fur et à mesure que l'on monte, et sur lesquels on applique un enduit ;

2° On les fait aussi rectangulaires en les réservant simplement dans la maçonnerie de moellons, que l'on recouvre d'un enduit ;

3° On en construit de cylindriques, en faisant usage de briques Gourlier, dont les différentes formes et dimensions sont com-

binées de manière à former ensemble l'épaisseur des murs ordinaires, et à compléter tout le contour du tuyau, soit isolé, soit placé à côté d'un autre, en même temps qu'elles jettent harpes dans le surplus des murs en moellons ;

4° Les tuyaux cylindriques se font quelquefois en plâtre, en les calibrant au moyen d'un mandrin ou d'un tuyau en zinc. Ce travail faisant partie des légers ouvrages, nous en parlerons plus loin.

Dans le sens de leur hauteur, les tuyaux en saillie et ceux réservés dans l'épaisseur des murs s'élèvent ordinairement verticalement, comme ceux *a*, *a* (*fig.* 469) ; mais on est presque toujours obligé de les dévoyer, c'est-à-dire de les incliner, sur une partie de leur hauteur, comme ceux *b*, *b*, pour les faire passer à côté du faîtage, des pannes et autres pièces du comble, et pour qu'ils se trouvent au droit des ouvertures réservées dans les trémies des planchers, lesquelles ne peuvent avoir de chevêtre *c* dont la longueur dépasse 2m,743, maximum déterminé par les règlements de police.

Fig. 469.

Incendies et construction des cheminées. — ORDONNANCE DE POLICE DU 1er SEPTEMBRE 1897

TITRE II. — ETABLISSEMENT DES FOYERS FIXES OU MOBILES EN USAGE DANS LES HABITATIONS ET DANS L'INDUSTRIE

ART. 2. — Il est interdit d'adosser des foyers fixes ou mobiles, cheminées, poêles, fourneaux, ainsi que des fours ou autres foyers industriels, à des pans de bois ou à des cloisons contenant du bois.

On devra laisser, entre tout ouvrage de charpente ou de menuiserie et les appareils meubles de chauffage ordinaire, un isolement d'au moins 16 centimètres ; l'isolement sera porté à 50 centimètres au moins pour lesdits appareils, s'ils ne sont pas pourvus d'une double enveloppe.

Les fours, les fourneaux et les foyers industriels devront avoir des isolements proportionnés à la chaleur produite, et suffisants pour éviter tout danger d'incendie.

ART. 3. — Les fourneaux, les foyers industriels, les foyers de cheminée et de tous les appareils de chauffage non mobiles, sur plancher en charpente de bois, devront être établis sur des trémies en matériaux incombustibles.

Pour les cheminées d'appartement, la longueur de ces trémies sera au moins égale à la largeur de la cheminée, y compris la moitié de l'épaisseur des jambages, et leur largeur sera de 1 mètre au moins à partir du fond du foyer jusqu'au chevêtre.

Tout foyer et tout appareil de chauffage non mobile, sur âtre dit relevé, est formellement interdit.

Art. 4. — Les *fourneaux potagers*, fixes ou mobiles, devront être disposés de telle sorte que les cendres, qui en proviennent, soient retenues par des cendriers fixes, construits en matériaux incombustibles. Ils devront reposer sur un sol carrelé ou en matériaux incombustibles et mauvais conducteurs de la chaleur, dépassant d'au moins 0m,30 la face du fourneau potager. Ces fourneaux devront être surmontés d'une hotte terminée par un conduit de fumée spécial.

Art. 5. — Dans les pièces dont le sol est constitué en matériaux combustibles, les poêles, les fourneaux mobiles et les autres appareils de chauffage également mobiles devront être posés sur une plate-forme d'une épaisseur suffisante, en matériaux incombustibles, mauvais conducteurs de la chaleur, et dépassant la face des ouvertures verticales du foyer d'au moins 0m,30. Ils devront, de plus, être élevés sur pieds, de telle sorte qu'au-dessus de la plate-forme il y ait un vide de 0m,08 au moins.

TITRE III. — Etablissement des conduits de fumée fixes ou mobiles

1° *Conditions générales.* — Art. 6. — Tout conduit de fumée montant, situé à l'intérieur d'une habitation, devra ne desservir qu'un seul foyer, à moins qu'il ne soit exclusivement affecté à un groupe de foyers industriels. En tout cas, il s'élèvera dans toute la hauteur du bâtiment, et ne déviera jamais de la verticale de plus de 30°.

Exception est faite en ce qui concerne les conduits desservant des foyers à flamme renversée visés par les articles 8 et 17 et les raccordements de foyers.

Il est formellement interdit de pratiquer des ouvertures dans un conduit de fumée traversant un étage pour y faire arriver de la fumée, des vapeurs ou des gaz, ou même de l'air.

La section transversale du conduit de fumée devra être proportionnée à l'importance du foyer qu'il dessert et être égale et régulière dans toute la hauteur.

Les épaisseurs des parois des conduits de fumée devront toujours être proportionnées à l'importance du foyer et suffisantes pour que la chaleur produite ne puisse les détériorer ou être la cause soit d'un incendie, soit d'une incommodité grave et de nature à altérer la santé des habitants.

Toute face intérieure des conduits de fumée devra être à une distance suffisante des bois de charpente et de menuiserie, et de toute autre matière combustible, pour éviter les dangers du feu.

Art. 7. — Tous les conduits de fumée faisant partie de la construction devront être en briques, en briquettes ou en terre cuite de très bonne qualité et ayant subi une cuisson parfaite.

Les éléments qui les composent devront être liés entre eux et la maçonnerie de façon à s'opposer efficacement au passage de la fumée et des gaz.

Les tuyaux employés pour constituer les conduits adossés aux murs devront se relier entre eux par des joints ou des emboîtements efficaces.

Art. 8. — Les conduits de fumée à flamme renversée ne devront pas traverser des locaux habités autres que ceux où est établi le foyer qu'ils desservent. Ils seront pourvus de trappes de ramonage lutées avec le plus grand soin et permettant un nettoyage facile des diverses parties qui les composent. Ces trappes de ramonage devront être à l'intérieur de la location dans laquelle le foyer est établi.

2° *Établissement des conduits de fumée desservant des foyers ordinaires et traversant des locaux habités, ou adossés à des habitations.* — Art. 9. — Les conduits de fumée desservant des foyers ordinaires ne pourront avoir moins de 0m,18 sur 0m,22 ou de 0m,20 sur 0m,20 de section intérieure, s'ils sont rectangulaires ; moins de 0m,22 de diamètre s'ils sont de section circulaire, et moins de 0m,20 sur 0m,25, s'ils sont de section elliptique.

Les angles intérieurs des conduits de section rectangulaire seront arrondis et le plus grand côté ne pourra avoir une dimension supérieure à une fois et demie le petit côté.

Pour les conduits elliptiques, la même proportion sera observée.

Les conduits de section circulaire ne devront être construits qu'en briques ayant au moins 0m,05 d'épaisseur.

Les wagons et les boisseaux en terre cuite devront avoir aussi 0m.05 d'épaisseur ; les conduits de fumée, en briques ou en terre cuite devront être recouverts d'un enduit plâtre d'au moins 0m,02 d'épaisseur, ou de toute autre matière incombustible et mauvaise conductrice de la chaleur et, en tout cas, d'une épaisseur suffisante pour qu'il n'en résulte aucun danger d'incendie ou aucune incommodité grave pour les habitants.

Art. 10. — Toute face intérieure des conduits de fumée en maçonnerie devra être à 0m,16 au moins des bois de charpente, et à 0m,07 au moins des légers bois de menuiserie.

Art. 11. — Les conduits de fumée mobiles, en métal, devront toujours être apparents dans toutes leurs parties et être éloignés d'au moins 0m,16 de tout bois de charpente ou de menuiserie, et d'autres matières combustibles.

Ils ne devront pas pénétrer dans une location autre que celle où est établi le foyer qu'ils desservent.

3° *Conduits dans les murs mitoyens desservant des foyers ordinaires.* — Art. 12. — Les conduits de fumée pourront être construits, sous réserve des droits et du consentement des tiers, dans les murs mitoyens et dans les murs séparatifs de deux maisons contiguës, qu'elles appartiennent ou non au même propriétaire. Ils devront être construits exclusivement en briques droites ou cintrées et avoir au moins 0m,10 d'épaisseur.

Les languettes de contre-cœur, au droit des foyers, devront être en briques et avoir au moins 0m,22 d'épaisseur et de hauteur. Leur largeur devra dépasser celle du foyer d'au moins 0m,22 de chaque côté.

4° *Conduits de fumée dans les murs de refend et conduits de fumée adossés, desservant des foyers ordinaires.* — Art. 13. — Les conduits de fumée dans les murs de refend ne pourront être construits qu'en

briques ou en wagons de terre cuite ayant les dimensions, les épaisseurs, le liaisonnement et les isolements prescrits par les articles 6, 7, 9 et 10.

Art. 14. — Les conduits de fumée adossés pourront seuls être construits en boisseaux de terre cuite aux conditions imposées par les mêmes articles 6, 7, 9 et 10.

Art. 15. — Les languettes de contre-cœur, au droit des foyers de ces conduits de fumée, devront être en briques, avoir au moins une hauteur de 0m,80, une largeur dépassant celle du foyer d'au moins 0m,10 de chaque côté et une épaisseur d'au moins 0m,10. Ces languettes, dans toute la largeur du foyer, devront, en outre, être protégées par une plaque de fonte ou un revêtement en briquettes réfractaires d'au moins 0m,04 d'épaisseur.

L'épaisseur de la languette pourra n'être que de 0m,06, lorsque les deux cheminées seront adossées l'une à l'autre.

5° *Conduits de fumée placés à l'intérieur des habitations et desservant des foyers industriels.* — Art. 16. — Les conduits de fumée desservant des foyers industriels, autres que des foyers ordinaires : fours, forges, moufles, générateurs de vapeur, calorifères, fourneaux de restaurateurs ou analogues, de rôtisseurs, de charcutiers, etc., fours de boulangers et de pâtissiers, établissements de bains, etc., devront être, autant que possible, placés à l'extérieur ; mais, s'ils traversent des locaux habités, ils ne devront être construits qu'en briques d'au moins 0m,10 d'épaisseur, et jamais en poterie.

Ils devront être établis conformément aux articles 6, 7 et 8, et les parois, enduits compris, devront avoir au moins 0m,13 d'épaisseur.

Art. 17. — Les conduits de fumée de ces foyers peuvent avoir des parcours inclinés ou horizontaux se raccordant avec le conduit principal, à la condition d'être en briques et de ne pas traverser des locaux habités.

A chaque changement de direction, il sera établi des trappes de ramonage, facilement accessibles, lutées avec le plus grand soin, et permettant un ramonage efficace de toutes leurs parties depuis le foyer jusqu'à la partie supérieure de la cheminée.

Art. 18. — Toute face intérieure de ces conduits devra être au moins à 0m,13 des bois de menuiserie et à 0m,20 des bois de charpente.

Le conduit en métal, qui raccorderait le foyer avec le conduit de fumée en maçonnerie, ne doit, dans aucun cas, sortir du local où est le foyer. Il doit être à 0m,25 au moins de tout bois de charpente et de menuiserie ou de toute autre matière combustible.

Ces conduits de fumées devront être toujours élevés à une hauteur suffisante ou disposés de telle sorte qu'il n'en résulte aucune incommodité, ni aucun danger d'incendie pour le voisinage.

6° *Conduits de fumée industriels, à l'extérieur et en dehors des habitations, grandes cheminées d'usines, etc.* . — Art. 20. — Ces cheminées ou conduits, lorsqu'ils seront installés à demeure et pour une durée de plus de trois mois et lorsqu'ils correspondront à une consommation de plus de 25 kilogrammes de combustible par heure, devront être, sauf autorisation spéciale, élevés à une hauteur d'au moins 5 mètres au-dessus des souches de cheminées des habitations avoisinantes, dans un rayon de 50 mètres.

La partie inférieure de ces conduits ou cheminées devra être pourvue de chicanes ou de toute autre disposition telle que la fumée, les flammèches ou les escarbilles ne puissent être un danger d'incendie ou d'incommodité grave pour le voisinage.

Entretien des conduits de fumée. — Art. 21. — Les doubles enveloppes, qui laissent un vide entre le conduit et l'enveloppe elle-même, sont formellement interdites lorsque, par cette disposition, elles s'opposent au bon entretien, à la visite et à la réparation des dits conduits.

Tout conduit de fumée brisé ou crevassé doit être de suite réparé ou refait.

Après un feu de cheminée, le conduit de fumée où le feu se sera déclaré devra être visité dans tout son parcours par un architecte ou un constructeur et sera, au besoin, réparé ou refait.

Ramonage. — Art. 22. — Il est enjoint aux propriétaires et locataires de faire nettoyer ou ramoner les cheminées et tous foyers quelconques ainsi que leurs conduits de fumée, assez fréquemment pour prévenir les dangers de feu. . . . . .

TITRE IV. — Conduits et tuyaux de chaleur des calorifères

Art. 24. — Dans la traversée du rez-de-chaussée et des étages, les conduits de chaleur des calorifères à air chaud et à feu direct devront être établis dans les mêmes conditions que les tuyaux de fumée.

Cependant les conduits pourront être en métal, à la condition d'être recouverts d'un enduit en plâtre d'au moins 0m,08 ou de toute autre matière incombustible, non conductrice de la chaleur, et d'une épaisseur suffisante pour éviter tout danger d'incendie.

Les bouches de chaleur encastrées dans les parquets, les plinthes ou les bois de menuiserie auront un encadrement incombustible d'au moins 0m,04 de largeur, scellé sur un massif en plâtre ou en toute autre matière incombustible, se raccordant avec les parois intérieures et extérieures du conduit de chaleur qui les dessert.

TITRE V. — Couvertures en chaume, jonc, etc.

Art. 25. — Aucune couverture en chaume, jonc, ou autre matière inflammable ne pourra être conservée ou établie sans notre autorisation.

TITRE VI. — Fours, forges, fourneaux, foyers d'usine, fours de boulangers, de pâtissiers, de fabricants de biscuits, ateliers de charrons, de carrossiers, de menuisiers, etc.

Art. 26. — La construction et l'exploitation de tous fours, forges, fourneaux ou foyers d'usine, des fours de boulangers, pâtissiers, fabricants de biscuits, des foyers ou forges servant aux ateliers de charrons, de carrossiers, de menuisiers, etc., devront faire l'objet d'une déclaration préalable à la préfecture de police.

Pour ce qui concerne les foyers industriels des établissements classés comme dangereux, insalubres ou incommodes, la déclaration se confondra avec la demande en autorisation.

Le sol, le plafond et les cloisons des locaux où seront construits les forges, fours, fourneaux ou foyers tombant sous l'application de la prescription inscrite au § 1er du présent article, ne pourront être en

planches ou légers bois de menuiserie. Dans ces locaux, les planchers seront hourdés et plafonnés en plâtre, les remplissages entre les poteaux en charpente de bois de la construction seront en maçonnerie, et le comble, s'il est en bois, devra être hourdé plein et plafonné, ne laissant apparentes que les grosses pièces de charpentes. On devra y maintenir, pour les murs des foyers et pour les conduits de fumée, les isolements des bois et des matières combustibles, proportionnés à la chaleur produite, comme il est dit aux articles 2, 16, 17 et 18.

Art. 27. — Les forges, fixes ou mobiles, ne pourront être établies à proximité des murs mitoyens ou des cloisons et des murs séparatifs d'une location voisine, qu'à la condition d'observer un isolement d'au moins 0m,34 ou de construire un contre-mur en matériaux réfractaires: ce contre-mur sera d'au moins 0m,34 d'épaisseur et d'une hauteur suffisante pour protéger les murs et cloisons contre toute dégradation et pour éviter l'incommodité pouvant résulter de la chaleur.

Les forges devront être surmontées de hottes d'une largeur suffisante, pour recueillir toutes les fumées, et ces hottes devront être pourvues d'un conduit de fumée.

Art. 28. — Les charrons, carrossiers, menuisiers, ébénistes et autres ouvriers qui travaillent le bois et le fer dans le même local, sont tenus d'éloigner, le plus possible, les forges et les foyers quelconques de l'endroit où l'on travaille le bois, et de balayer tous les soirs l'atelier.

Les fourneaux dits *sorbonnes* seront établis sous des hottes en matériaux incombustibles.

L'âtre sera entouré d'un rebord incombustible de 0m,25 de hauteur au-dessus du foyer. Ce foyer sera disposé de manière à être clos hermétiquement, pendant l'absence des ouvriers, par une porte en tôle.

Les pots à colle seront entretenus en bon état de propreté, afin d'éviter l'adhérence des cendres et des charbons enflammés.

Le vernis devra être contenu dans des bidons en métal; les tampons et les chiffons à vernir seront enfermés dans une boîte en métal.

Art. 29. — L'exploitation des fournils et fours de boulangers, de pâtissiers et de fabricants de biscuits, pains d'épice, etc., est soumise aux prescriptions suivantes :

1° Les fournils devront être séparés des locations et habitations voisines par des murs pleins en maçonnerie d'une épaisseur suffisante.

Les locaux où ils seront installés seront d'un accès facile :

2° Les fours seront isolés des murs mitoyens et des cloisons ou murs séparatifs des locations voisines par un espace vide d'au moins 0m,34, et le mur du four devra avoir au moins 0m,34 d'épaisseur. Les conduits de fumée seront construits comme il est dit aux articles 16, 17, 18 et 19 de la présente Ordonnance;

3° Le bois de provision devra toujours être disposé en dehors du fournil, dans un local où il ne puisse présenter aucun danger d'incendie, et la porte de ce local devra être en fer;

4° Le bois destiné à la consommation du jour ne pourra, soit avant, soit après sa dessiccation, être laissé dans les fournils, que s'il est placé dans une resserre en matériaux incombustibles fermant hermétiquement par une porte en fer.

Les arcades situées sous les fours ne pourront être affectées à l'usage de resserre qu'autant qu'elles seront fermées également par une porte en fer, à demeure, posée en retraite à 0m,10 de la face du four;

5° Les escaliers desservant les fournils seront en matériaux incombustibles;

6° Les soupentes et resserres et toutes autres constructions établies dans les fournils, ainsi que les supports de pannetons, les étouffoirs et coffres à braise, seront aussi en matériaux incombustibles;

7° Les pétrins et les couches à pains seront placés à plus de 2 mètres de la bouche du four;

8° Les tuyaux à gaz dans les fournils devront être en fer et non en plomb, et les lumières devront être protégées par des globes ou des verres.

TITRE VII. — ENTREPÔTS, DÉPÔTS, MAGASINS ET DÉBITS DE MATIÈRES COMBUSTIBLES OU INFLAMMABLES, AUTRES QUE LES COMBUSTIBLES MINÉRAUX SOLIDES.

I. *Conditions générales.* — ART. 30. — La construction et l'exploitation de ces magasins, dépôts et entrepôts, devront être précédées d'une déclaration à la préfecture de police.

ART. 31. — Ces magasins, dépôts ou entrepôts devront être en matériaux incombustibles ou, tout au moins, sans bois apparents autres que les grosses pièces de charpente. Les portes sur l'extérieur et les portes de communication intérieures devront être en fer.

. . . . . .

II. *Magasins de paille et de fourrages.* — ART. 34. — 1° Les magasins de paille et de fourrages, dans lesquels la quantité emmagasinée à la fois dépasse 300 bottes, ne seront habités dans aucune de leurs parties. Ils devront être complètement séparés des propriétés voisines par un mur plein en maçonnerie s'élevant en gradins par parties horizontales à 1 (*un*) mètre au moins au-dessus du lattis de la toiture du bâtiment le plus élevé;

2° Il n'y aura dans ces magasins ni foyers, ni conduits de fumée quelconques.

Ils seront construits en matériaux incombustibles, sauf le comble qui pourra être en bois. Le comble, s'il est en bois ou en fer, sera hourdé plein et enduit en plâtre, ne laissant apparentes que les grosses pièces de charpentes. Les portes seront en fer et les planchers hourdés pleins et enduits en plâtre;

3° Les supports verticaux des planchers seront formés par des piles en maçonnerie ou par des colonnes en métal, protégées par un enduit en plâtre, stuc ou ciment, ou par une enveloppe en terre cuite réfractaire;

4° Les ouvertures latérales, ainsi que celles établies sur combles, seront fermées à verre dormant, avec toile métallique à mailles serrées.

La ventilation intérieure se fera au moyen de trémies ou tuyaux qui monteront au-dessus du comble et dont l'orifice de sortie sera protégé par un chapeau saillant;

5° A chaque étage de ces bâtiments, il sera établi un nombre suffisant de prises d'eau, en pression, au pas de 40 millimètres de diamètre, avec jeux de tuyaux flexibles munis d'une lance et d'une longueur suffisante pour atteindre toutes les parties du magasin.

ARRÊTÉ PRÉFECTORAL DU 25 NOVEMBRE 1897, CONCERNANT L'ÉTABLISSEMENT DES TUYAUX DE FUMÉE DANS L'INTÉRIEUR DES MAISONS DE PARIS

Art. 1er. — L'établissement des foyers et des conduits de fumée dans les murs mitoyens et dans les murs séparatifs de deux maisons contiguës, qu'elles appartiennent ou non au même propriétaire, ne pourra être autorisé que sous les conditions suivantes :

1° Les languettes de contre-cœur au droit des foyers devront être en briques de bonne qualité et avoir au minimum 22 centimètres d'épaisseur sur une hauteur de 80 centimètres et une largeur dépassant celle du foyer d'au moins 22 centimètres de chaque côté;

2° Les conduits de fumée devront être construits exclusivement en briques à plat, droites ou cintrées et avoir au moins 0m,10 d'épaisseur;

3° Les murs mitoyens ou séparatifs ne pourront recevoir de poutres ni solives que lorsqu'ils seront entièrement pleins dans la partie verticale au-dessous des scellements de ces solives;

4° Les parties supérieures de ces murs, constituant souche de cheminées, porteront un couronnement en pierre devant servir de plate-forme et faisant saillie d'au moins 15 centimètres sur chaque face. Elles devront, en outre, être munies d'une main-courante en fer.

Art. 2. — Il est permis d'établir des conduits de fumée dans l'intérieur des murs de refend, sous la double condition :

1° Que ces murs auront une épaisseur de 40 centimètres, s'ils sont construits en moellons, ou de 37 centimètres, s'ils sont construits en briques, enduits compris;

2° Que les conduits de fumée seront exécutés en briques de bonne qualité, droites ou cintrées, ou en wagons de terre cuite.

Art. 3. — L'adossement des tuyaux de fumée à des pans de fer est permis, à la condition de maintenir un renformis de 5 centimètres en plâtre, non compris l'épaisseur du conduit, entre les pans de fer et les conduits de fumée.

Art. 4. — Il sera toujours réservé un dosseret de maçonnerie pleine ayant au moins 45 centimètres d'épaisseur, enduits compris, entre la paroi intérieure des tuyaux engagés dans les murs et le tableau pratiqué dans ces murs.

Cette épaisseur pourra être réduite à 25 centimètres, à la condition que le dosseret soit construit en pierre de taille ou en briques de bonne qualité.

Art. 5. — Les conduits de fumée desservant des foyers ordinaires ne pourront avoir moins de 0m,18 sur 0m,22, ou de 0m,20 sur 0m,20 de section intérieure, s'ils sont rectangulaires; moins de 0m,22 de diamètre, s'ils sont de section circulaire, et moins de 0m,20 sur 0m,25, s'ils sont de section elliptique.

Les angles intérieurs des conduits seront arrondis et le plus grand côté ne pourra avoir une dimension supérieure à une fois et demie le petit côté.

Pour les conduits elliptiques, la même proportion sera observée.

Les conduits de section circulaire ne devront être construits qu'en briques ayant au moins 5 centimètres d'épaisseur.

Les conduits de fumée, en briques ou en terre cuite, devront être recouverts d'un enduit en plâtre d'au moins 2 centimètres d'épaisseur.

ou toute autre matière incombustible et mauvaise conductrice de la chaleur, et, en tout cas, d'une épaisseur suffisante pour qu'il n'en résulte aucun danger d'incendie ou aucune incommodité grave pour les habitants.

Art. 6. — Les tuyaux de cheminée non engagés dans les murs ne seront autorisés que s'ils sont adossés à des piles en maçonnerie ou à des murs en moellons ayant au moins 40 centimètres d'épaisseur, enduits compris, ou à des murs en briques ayant au moins 22 centimètres d'épaisseur, ou, dans le dernier étage, à des cloisons en briques de 11 centimètres d'épaisseur.

Ces conduites devront être solidement attachées au mur tuteur par des ceintures en fer dont l'espacement ne dépassera pas 2 mètres.

Les languettes de contre-cœur au droit des foyers de ces conduits de fumée devront être en briques et avoir au moins une hauteur de 80 centimètres, une largeur dépassant celle du foyer d'au moins 10 centimètres de chaque côté et une épaisseur d'au moins 10 centimètres. Ces languettes, dans toute la largeur du foyer, devront en outre être protégées par une plaque en fonte ou un revêtement en briquettes réfractaires d'au moins 4 centimètres d'épaisseur.

L'épaisseur de la languette pourra n'être que de 6 centimètres lorsque les deux cheminées seront adossées l'une à l'autre.

Art. 7. — Les wagons et les boisseaux en terre cuite, employés comme tuyaux adossés, devront avoir au moins 5 centimètres d'épaisseur, seront à emboîtement et formeront, avec l'enduit en plâtre, une épaisseur totale d'au moins 7 centimètres.

Art. 8. — L'épaisseur des languettes, parois et costières des conduites engagées dans les murs ou adossées, ne pourra jamais être inférieure à 7 centimètres, enduits compris.

Art. 9. — Les conduits de fumée ne pourront dévier de la verticale de manière à former avec elle un angle de plus de 30°.

Ils devront avoir une section égale dans toute leur hauteur et seront facilement accessibles à leur partie supérieure.

Sécurité des habitants (arrêté du préfet de police, novembre 1883)

Le faîtage des constructions devra présenter un chemin plat d'au moins 0m,70 de largeur, et parfaitement praticable, tant pour les ouvriers, en cas de réparations, que pour les sapeurs-pompiers, habitants ou sauveteurs, en cas d'incendie. Ce chemin sera bordé d'un côté d'une lisse en fer, placée à 0m,30 de haut; il sera installé, en outre, un garde-corps fixe en fer avec montants et traverses, dont les intervalles seront grillagés fortement pour arrêter la chute des sapeurs-pompiers, des ouvriers ou des matériaux. La hauteur de ce garde-corps ne pourra être moindre de 0m,80; il pourra être formé d'ornements ajourés, mais toujours être pourvu à son sommet d'une lisse à main courante.

Au long des murs mitoyens et de ceux de refend perpendiculaires aux façades sur rues, cours et jardins, il devra être scellé des échelons en fer formant escaliers, avec support et main courante, le tout indépendant et sans point d'appui sur le comble. Il sera prévu une sortie facile sur le comble, soit par une lucarne, soit par une trappe dans le

comble même, de manière à permettre d'atteindre aisément les échelons en fer des murs mitoyens et de refend.

Le même règlement prescrit encore l'établissement de deux *escaliers* offrant une double issue, surtout aux étages supérieurs. Dans le cas où il serait impossible d'établir un second escalier, il y sera suppléé au moyen d'échelons en fer placés sur toute la hauteur de la façade sur cour.

Couronnement des murs. — Murs dosserets. — Quand les murs sont élevés à la hauteur du dessus du plancher du grenier et que l'inclinaison du comble est déterminée, on continue à élever les parties angulaires des murs pignons et des murs de refend, qui doivent supporter le comble.

Le maître compagnon pose verticalement, au droit de la rencontre des parties inclinées, une pièce de bois ou un boulin qu'il scelle sur le plancher à l'aide d'un patin en plâtre ; perpendiculairement à cette perche, il fixe une broche à la hauteur du sommet des murs, et tendant deux lignes fixées par une extrémité à cette broche, et par l'autre sur les murs au niveau de la plateforme en O (*fig.* 469), ces lignes déterminent l'inclinaison du couronnement du mur, et l'ouvrier les suit pour finir son mur ; il réserve des trous pour sceller les pannes et le faîtage du comble.

Pour les murs-pignons ou les murs de refend dans l'épaisseur desquels se trouvent réservés des tuyaux de cheminées, on élève les parties de murs dans lesquelles se trouvent les tuyaux, afin de continuer les coffres de cheminées, dont le couronnement s'élève au-dessus du sommet du comble. Quand les tuyaux de cheminées sont adossés aux murs, on construit leurs coffres en même temps que les murs, et on les surélève jusqu'au-dessus du sommet du comble, ainsi que les parties de murs auxquelles ils s'adossent. On fait de fréquents arrachements, de $0^m,08$ de profondeur, afin d'établir une liaison parfaite entre les murs et les languettes en briques ou en pigeonnage formant les coffres.

Les portions de murs auxquelles se trouvent adossées les parties de coffres de cheminées, en dehors des combles, prennent le nom de *murs dosserets ;* leurs extrémités doivent toujours être légèrement inclinées, comme le fait voir en NR la figure 469. Ces extrémités inclinées se construisent en pierre de taille ou en briques, et quelquefois en maçonnerie brute, qu'on relie bien, et qu'on recouvre d'un enduit en plâtre ordinaire, ou teint en rouge, simulant un appareil de briques.

Si les tuyaux de cheminées n'avaient pas été élevés en même temps que les murs, on serait obligé d'établir les parties situées à la hauteur des combles avant de faire la couverture. On les érige en porte-à-faux depuis la hauteur du plancher du grenier, en les soutenant au moyen de forts arrachements, et en disposant sous chaque languette le pigeonnage et les briques en forme

de consoles, et, lorsqu'on fait le ravalement intérieur, on vient raccorder les coffres des cheminées avec ces parties laissées en attente.

Construction de l'entablement. — Si les murs de face sont en pierre de taille, on pose celles de la corniche épannelées. Si les murs-pignons sont couronnés d'un fronton, on pose les pierres formant la saillie comme celles de la corniche, mais en suivant l'inclinaison fixée.

Les règlements de voirie exigent que les pierres des corniches aient au moins autant de queue sur les murs qu'elles ont de saillie sur les parements extérieurs de ces mêmes murs.

Lorsque les murs de face sont en moellons, ce qui a lieu le plus souvent, le maître compagnon ayant fixé la hauteur et la saillie de la corniche, les ouvriers posent les moellons de saillie, taillés suivant l'épannelage brut de la corniche (*fig.* 470).

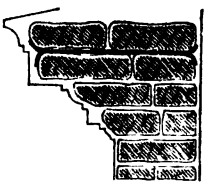


Fig. 470.

Les moellons de saillie doivent être tendres, afin que, s'il s'en trouve quelques-uns de trop forts en passant le calibre, on puisse les piocher sans les ébranler ; ils doivent avoir le plus de longueur de queue possible.

Dans la corniche, on place de distance en distance, pour retenir la partie en saillie, des barres de fer, dites *queues-de-carpe*, ouvertes en **T** à leurs extrémités (*fig.* 470). A Paris, les entablements en moellons sont prohibés quand leur saillie sur la voie publique excède $0^m,162$; on est alors obligé de les faire en pierre de taille. Quelquefois, par économie, et pour se renfermer dans les prescriptions des règlements de voirie, on fait en moellons la partie inférieure de corniche qui n'excède pas $0^m,162$ de saillie, et en pierre de taille la cimaise supérieure.

Règlement du maître général des bâtiments (1er juillet 1712), **relatif aux entablements et autres saillies**

Ordonnons qu'à l'avenir, dans la construction de tous les bâtiments, les entrepreneurs, ouvriers et autres qui se trouveront employés, seront tenus, à l'égard de la maçonnerie qui se fera sur les pans de bois, outre la latte, qui doit s'y mettre de 4 pouces suivant les règlements, d'y mettre des clous de charrettes, de bateaux et des chevillettes en fer, en quantité suffisante et convenablement enfoncées, pour soutenir les entablements, plinthes, corps, avant-corps et autres saillies

Pour les murs de face des bâtiments qui se construiront avec moellons et plâtre, ou mortier de chaux et sable, outre les moellons en saillie dans lesdits plinthes et entablements, aussi suivant les règlements, ils seront pareillement tenus d'y mettre des *fantons* de fer,

aussi en quantité suffisante pour soutenir lesdites plinthes et entablements, corps, avant-corps et autres saillies.

Et quant aux bâtiments qui se construiront en pierre de taille, les entablements porteront le parpaing du mur outre la saillie ; et au cas où la saillie de l'entablement soit si grande qu'elle puisse emporter la bascule du derrière, ils seront tenus d'y mettre des crampons de fer pour les retenir dans le mur de face.

Règlement sur les saillies permises à Paris

(DÉCRET DU 22 JUILLET 1882)

ART. 1er. — A l'avenir, il ne pourra être établi, sur les murs de face des constructions alignées ou non alignées de la ville de Paris, aucune saillie sur la voie publique autre que celles autorisées par le présent décret.

ART. 2. — Pour les constructions alignées, les *jambes étrières* ou *boutisses* au droit des murs séparatifs *devront toujours être sur l'alignement* et ne pourront recevoir, sur toute la hauteur du rez-de-chaussée, à compter du niveau du trottoir, aucune saillie inhérente au gros œuvre du mur de face.

ART. 3. — Toute saillie sera comptée à partir de l'alignement pour les constructions alignées, et à partir du nu du mur de face pour les constructions non alignées et joignant la voie publique.

ART. 4. — Les saillies, dont les dimensions sont variables suivant la largeur des voies, seront déterminées d'après la largeur légale de la voie pour les constructions alignées ou en retraite de l'alignement, et d'après la largeur effective pour les constructions en saillie sur l'alignement.

ART. 5. — Les saillies autorisées ne pourront excéder les dimensions fixées aux tableaux annexés au présent décret et devront satisfaire aux conditions qui y sont déterminées.

Ces dimensions pourront être restreintes pour les constructions en saillie sur l'alignement.

ART. 6. — L'administration pourra autoriser, après avis du Conseil général des Bâtiments civils et avec approbation du Ministre de l'Intérieur, des saillies exceptionnelles pour les constructions ayant un caractère monumental.

ART. 7. — *Barrières provisoires, étais, échafauds.* — La saillie des barrières provisoires, étais, échafauds, engins et appareils servant à monter et à descendre les matériaux, sera fixée dans chaque cas particulier, suivant les localités et les circonstances, de manière à ne pas gêner la circulation.

Les constructeurs devront, en outre, se soumettre, sauf en ce qui touche la pose des étais, aux prescriptions du préfet de police.

ART. 8. — *Constructions provisoires, échoppes.* — Il pourra être permis de masquer, par des constructions provisoires ou des appentis, les renfoncements n'ayant pas plus de 8 mètres de longueur et ayant au moins 1 mètre de profondeur.

Ces constructions provisoires ne devront, dans aucun cas, excéder la hauteur du rez-de-chaussée, et elles seront supprimées dès qu'une des constructions attenantes subira retranchement.

Il pourra de même être permis de masquer, par des constructions provisoires en forme de pan coupé, les angles de toute espèce de renfoncement, mais sous la même condition que ci-dessus pour leur établissement et leur suppression. Le préfet de police sera consulté sur ces demandes.

Art. 9. — *Entablements, corniches.* — Les entablements et corniches existant actuellement et dépassant les saillies fixées ne pourront être réparés, même en partie, et ils devront, dans leurs portions mauvaises, être reconstruits sans excéder la saillie réglementaire.

Art. 10. — *Marches, perrons, bancs.* — Il est interdit d'établir, de remplacer ou de réparer des marches, bancs, pas, perrons, entrées de caves ou tous ouvrages en saillie sur les alignements et placés sur le sol de la voie publique.

Néanmoins il pourra être fait exception à cette règle pour ceux de ces ouvrages qui seraient la conséquence de changements apportés au niveau de la voie.

En outre, les marches, pas, perrons et entrées de caves, qui appartiendraient à des immeubles atteints par l'alignement au moment de la promulgation du présent règlement, et qui feraient eux-mêmes saillie sur l'alignement, pourront être entretenus et au besoin reconstruits tels qu'ils existaient jusqu'à l'époque où seront réédifiés les bâtiments dont ils dépendent.

Art. 11. — *Bornes.* — Il est interdit d'établir des bornes en saillie sur les murs de face ou de clôture, et celles qui existent actuellement devront être enlevées partout où un trottoir sera construit.

Art. 12. — *Conduits de fumée.* — Aucun conduit de fumée ne pourra être appliqué sur le parement extérieur des murs de face ni déboucher sur la voie publique.

Art. 13. — *Cuvettes.* — Aucune espèce de cuvette pour l'écoulement des eaux ménagères ou industrielles ne pourra être établie en saillie sur la voie publique.

Art. 14. — *Constructions en encorbellement.* — Aucune construction en encorbellement, sur la voie publique ne sera permise.

Art. 15. — Les objets énumérés dans les articles 12, 13 et 14, qui existent actuellement ne pourront être réparés et devront être supprimés dès qu'ils seront en mauvais état.

Art. 16. — *Contrevents, persiennes.* — Les contrevents et persiennes existant actuellement au rez-de-chaussée et se développant à l'extérieur pourront être conservés, mais ils ne pourront être remplacés.

Dimensions et conditions des saillies, sur la voie publique, à Paris

Objets inhérents au gros œuvre des constructions

(GRANDE VOIRIE)

NUMÉROS DES ARTICLES	DÉSIGNATION DES OBJETS	SAILLIES AUTORISÉES	
		Jusqu'à 2m,60 au-dessus du trottoir	A plus de 2m,60 au-dessus du trottoir
	§ 1er. — *Socles et objets de décoration*		
1	Socles ou soubassements des maisons et murs.	0m,04	
	Les socles ou soubassements pourront faire ressaut avec la même saillie de 0m,04 au droit des pilastres, colonnes, chaînes, chambranles et pieds-droits.		
	La hauteur des socles et soubassements, mesurée au milieu de la façade, ne devra pas excéder 1m,20 au-dessus du trottoir.		
2	Pilastres, colonnes, chaînes, chambranles, pieds-droits, appuis de croisées et barres d'appel :		
	Dans les voies ayant moins de 12 mètres de largeur.....	0m,04	0m,06
	Dans les voies de 12 mètres de largeur et au dessus.....	0m,10	0m,15
	Les bases des pilastres, des colonnes, chaînes, chambranles, pieds-droits, etc., ne pourront dépasser les saillies autorisées pour les ressauts du socle ; par conséquent, les saillies totales ne pourront excéder :		
	Dans les voies ayant moins de 12 mètres de largeur..... 0m,08		
	Dans les voies de 12 mètres de largeur et au dessus..... 0m,14		
	La largeur de chaque pilastre, colonne, chaîne en refend ou bossage, chambranle, pied-droit, ne devra pas excéder 1m,20.		
	Leur largeur cumulée ne pourra excéder le tiers de la largeur totale de la façade et, pour chaque trumeau ou partie pleine, le parement devra être aligné sur un quart au moins de sa largeur totale.		
	L'appareil continu formé par des refends ou bossages ne devra faire aucune saillie sur l'alignement.		
	Lorsque les pilastres, colonnes, etc., auront une épaisseur plus considérable que les saillies permises, l'excédent sera en arrière de la propriété et le nu du mur de face formera arrière-corps à l'égard de cet alignement. Dans ce cas, la retraite du mur formant arrière-corps ne pourra être établie		

NUMÉROS DES ARTICLES	DÉSIGNATION DES OBJETS	SAILLIES AUTORISÉES Jusqu'à 2m,60 au-dessus du trottoir	SAILLIES AUTORISÉES A plus de 2m,60 au-dessus du trottoir
	à moins de 0m,80 de hauteur au-dessus du trottoir.		
3	Bandeaux, corniches, entablements, attiques, consoles, clefs, chapiteaux et autres objets de décoration analogues :		
	Dans les voies ayant moins de 7m,80 de largeur.....	0m,04	0m,25
	Dans les voies de 7m,80 à 12 mètres de largeur.....	0m,04	0m,50
	Dans les voies de 12 mètres de largeur et au dessus.....	0m,10	0m,50
	Les bandeaux, corniches, clefs, chapiteaux et autres objets de décoration analogues ayant plus de 0m,16 de saillie ne pourront être qu'en pierre, en bois ou en métal.		
	La saillie des corniches ou entablements en maçonnerie de plâtre ne pourra en aucun cas excéder 0m,16.		
	La saillie des corniches ou entablements en bois, sur pans de bois, ne pourra en aucun cas excéder 0m,25.		
	La saillie des corniches ou entablements en pierre de taille, en bois ou en métal sur façades en pierres, moellons ou briques ne pourra excéder l'épaisseur du mur à son sommet, excepté dans les voies de 20 mètres de largeur et au dessus et sous les conditions suivantes : 1° le mur n'aura pas à son sommet plus de 0m,45 d'épaisseur ; 2° la saillie de l'entablement ne dépassera pas 0m,65 : 3° les assises en pierre composant l'entablement auront, en arrière du parement extérieur du mur, une longueur au moins égale à leur saillie.		

NUMEROS DES ARTICLES	DÉSIGNATION DES OBJETS	SAILLIES AUTORISÉES		
		A 2m,60 au moins au-dessus du trottoir	A 4 m. au moins au-dessus du trottoir	A 5m,75 au moins au-dessus du trottoir
	§ 2. — *Balcons et accessoires*			
	Les hauteurs de 2m,60, 4 mètres, 5m,85, fixées comme ci-contre, seront mesurées pour les balcons jusqu'au parement inférieur de l'aire de ces balcons.			
4	Grands balcons (aires et garde-corps compris) :			
	Dans les voies de 7m,80 à 9m,75 de largeur.....	»	»	0m,50
	Dans les voies de 9m,75 de largeur et au dessus.....	»	0m,50	0m,80
	Les consoles et autres supports des grands balcons de 0m,80 de saillie pourront avoir cette même saillie, mais seulement dans une hauteur de 0m,80 en contre-bas du parement inférieur de l'aire.			
5	Petits balcons, dans les voies de toute largeur.....	0m,22	»	»
	Il pourra être établi, sur les grands et les petits balcons, des constructions légères qui ne dépasseront pas la saillie de ces balcons, à la condition que ces constructions présenteront toutes les garanties désirables de solidité.			
6	Herses, chardons, artichauts et autres objets analogues destinés à servir de défense sur les balcons, corniches et entablements.			
	En sus de la saillie permise pour lesdits objets.....	»	0m,25	»
	Les parties de ces objets excédant la saillie de leurs supports ne pourront être qu'en fer forgé, sans partie pleine.			

Objets ne faisant pas partie intégrante de la construction

(PETITE VOIRIE)

NUMÉROS DES ARTICLES	DÉSIGNATION DES OBJETS	SAILLIES AUTORISÉES		
		Jusqu'à 2m,60 au-dessus du trottoir	de 2m,60 à 3 m. au-dessus du trottoir	à plus de 3 m. au-dessus du trottoir
7	Seuils ou socles de devanture de boutiques.....	0m,20	»	»
	La hauteur des seuils ou socles de devanture, mesurée, en cas de déclivité de la voie, au point le plus haut du trottoir, ne devra pas excéder 0m,22.			
	En cas de suppression de la devanture, le seuil ou socle devra être également enlevé.			
	Lorsque, entre deux devantures consécutives dont la distance n'excédera pas 2 mètres, il existera une baie de porte, les seuils ou socles de ces devantures pourront être prolongés au-devant de l'intervalle, mais à la condition d'être enlevés dans le cas où l'une de ces devantures serait supprimée.			
8	Devantures de boutiques entre le socle et le tableau, tous ornements compris.....	0m,16	0m,16	0m,16
	Les devantures de boutiques ne pourront pas s'élever au-dessus de l'entresol.			
9	Tableaux de devanture sous corniche.....	0m,16	0m,16	0m,16
10	Ornements pouvant être appliqués sur lesdits tableaux et y compris la saillie des tableaux.....	0m,16	0m,30	0m,50
11	Corniches de devanture de boutique en bois ou en métal.....	0m,16	0m,30	0m,50
12	Grilles de boutique.....	0m,16	0m,16	0m,16
	Les grilles de boutique ne pourront pas s'élever au-dessus du rez-de-chaussée.			
13	Volets ou contrevents pour fermeture de boutiques.....	0m,16	0m,16	0m,16
14	Pilastres, colonnes, chambranles, caissons isolés en applique.....	0m,16	0m,16	0m,16
	Ces objets ne seront permis qu'au rez-de-chaussée et à l'étage immédiatement au-dessus.			
15	Parements de décoration.....	0m,06	0m,06	0m,06
	Les parements de décoration ne seront permis qu'au rez-de-chaussée et à l'étage immédiatement au-dessus.			
16	Moulures formant cadres.....	0m,06	0m,06	0m,06

NUMÉROS DES ARTICLES	DÉSIGNATION DES OBJETS	SAILLIES AUTORISÉES		
		Jusqu'à 2m,60 au-dessus du trottoir	de 2m,60 à 3 m. au-dessus du trottoir	à plus de 3 m. au-dessus du trottoir
17	Enseignes, tableaux-enseignes, attributs, écussons, grands tableaux (frises courantes portant enseignes)	0m,16	0m,30	0m,50
	Les enseignes et les tableaux-enseignes et grands tableaux ne devront, en aucun cas, être suspendus ni appliqués, soit aux balcons, soit aux marquises.			
	Il pourra néanmoins être appliqué sur les garde-corps des balcons, sans pouvoir en dépasser la hauteur, des attributs et des lettres dont l'épaisseur n'excèdera pas 0m,10.			
18	Montres et vitrines.....	0m,16	0m,30	0m,50
	Les montres et vitrines ne seront permises que dans la hauteur du rez-de-chaussée et de l'entresol.			
	Pour ceux de ces objets qui seraient appliqués sur une devanture de boutique, leur saillie, cumulée avec celle de la devanture, pourra, dans la hauteur de 2m,60, atteindre 0m,20.			
19	Horloges.....	»	»	1m,00
	La saillie de 1 mètre n'est accordée qu'aux horloges donnant l'heure; ces horloges ne devront être accompagnées d'aucune espèce d'enseigne.			
20	Etalages sur les façades.....	0m,16	0m,16	0m,16
	Aucun étalage ne sera permis au-dessus de l'entresol. Tous étalages de viande, volaille, abats ou autres objets, de nature à salir ou à incommoder les passants, sont formellement interdits.			
21	Baldaquins, marquises et transparents (supports compris).....	»	»	0m,80
	La hauteur de ces objets, non compris les supports, n'excèdera pas 1 mètre.			
	Aucune partie de ces supports, consoles ou accessoires, ne devra être établie à moins de 3 mètres au-dessus du trottoir.			
	Aucun de ces objets ne pourra être autorisé sur les façades au droit desquelles il n'y a pas de trottoir; ils ne pourront recevoir de garde-corps ni être utilisés comme balcons.			
	Leur saillie devra, dans tous les			

NUMÉROS DES ARTICLES	DÉSIGNATION DES OBJETS	SAILLIES AUTORISÉES Jusqu'à 2m,60 au-dessus du trottoir	de 2m,60 à 3 m. au-dessus du trottoir	à plus de 3 m. au-dessus du trottoir
	cas, être limitée à 0m,50 en arrière de l'arête de la bordure du trottoir. L'administration pourra autoriser l'établissement de grandes marquises excédant la saillie de 0m,80, au-devant des édifices publics, théâtres, salles de réunion, de concert, de bal, ainsi qu'au-devant des établissements particuliers, hôtels, maisons d'habitation. Elle restera libre d'apprécier, dans chaque cas, la saillie qui pourra être permise, suivant la largeur des voies et des trottoirs et les besoins de la circulation.			
22	Bannes. Le trottoir ayant moins de 5 mètres de largeur..	»	1m,50	1m,50
	Le trottoir ayant 5 à 8 mètres de largeur ...	»	2m,00	2m,00
	Le trottoir ayant 8 mètres de largeur et au dessus.	»	3m,00	3m,00
	Les bannes ne seront permises qu'au rez-de-chaussée. Les branches, supports, coulisseaux, en un mot toutes parties accessoires de bannes ne pourront descendre à moins de 2m,50 au-dessus du trottoir; la saillie des bannes devra être limitée, dans tous les cas, à 0m,50 en arrière de la bordure du trottoir. Les bannes ne pourront pas être garnies de joues, à moins d'une permission spéciale qui ne sera accordée qu'autant qu'il n'en résulterait aucun inconvénient pour la circulation ou pour les voisins et qui sera d'ailleurs toujours révocable. Les bannes devront être essentiellement mobiles et ne pourront, en aucun cas, être établies à demeure.			
23	Stores. Développés. à l'étage immédiatement au-dessus du rez-de chaussée...	»	»	1m,50
	aux étages supérieurs	»	»	0m,80
	Pavillons des stores.... ...	»	»	0m,16
	Les stores ne pourront régner au droit de plusieurs baies que dans le cas ou ils seraient posés			

NUMÉROS DES ARTICLES	DÉSIGNATION DES OBJETS	SAILLIES AUTORISÉES Jusqu'à 2m,60 au-dessus du trottoir	de 2m,60 à 3 m. au-dessus du trottoir	à plus de 3 m. au-dessus du trottoir
	au-dessous de grands balcons et à la condition de ne pas dépasser la longueur desdits grands balcons. Il pourra être posé des stores au-devant de l'étage d'attique, à la condition que leur saillie n'excédera pas celle du grand balcon d'entablement et que les appareils sur lesquels ils seront établis ne seront pas construits et fixés de manière à constituer une sorte d'étage dépassant la hauteur légale.			
24	Grilles et croisées. Dans les voies ayant moins de 12 mètres de largeur.....	0m,04	0m,04	0m,10
	Grilles et croisées. Dans les voies ayant 12 mètres de largeur et au-dessus.....	0m,10	0m,10	0m,10
25	Persiennes, volets et contrevents de croisées.....	»	»	0m,10
	Dans la hauteur de 3 mètres au-dessus du trottoir, les persiennes, volets ou contrevents devront être placés sans saillie dans l'épaisseur des tableaux des baies et ouvrir à l'intérieur. Tout développement à l'extérieur est interdit. Dans la hauteur des étages, tous châssis vitrés, toutes croisées simples ou doubles devront, de même, ouvrir à l'intérieur; il est interdit de les développer extérieurement, hormis le cas où ils se trouveraient au-dessus du grand balcon.			
26	Jalousies.....	»	0m,16	0m,16
27	Abat-jour et réflecteurs.....	»	0m,50	0m,50
28	Lanternes fixes à bras ou à consoles.	»	»	1m,50
29	Lanternes mobiles transparentes, en forme d'applique, vitrines lumineuses.....	»	0m,50	0m,50
30	Rampes d'illumination.....	»	»	0m,50
	Les lanternes ou tous autres appareils d'éclairage et d'illumination autorisés à n'importe quelle saillie devront toujours être placés à 0m,50 au moins en arrière de l'arête de la bordure du trottoir. Dans les rues de 12 mètres de largeur et au dessus, les lanternes mobiles, dites réflecteurs, servant à l'éclairage des devantures de			

NUMEROS DES ARTICLES	DÉSIGNATION DES OBJETS	SAILLIES AUTORISÉES		
		Jusqu'à 2m,60 au-dessus du trottoir	de 2m,60 à 3 m. au-dessus du trottoir	à plus de 3 m. au-dessus du trottoir
	boutiques, pourront descendre jusqu'à 2m,20 au-dessus du trottoir, mais à la condition qu'elles ne seront posées qu'au moment de leur allumage et retirées au moment de leur extinction.			
31	Tuyaux de descente.....	0m,16	0m,16	0m,16
32	Cuvette de dégorgement des eaux pluviales sous l'entablement.....	»	»	0m,35

Généralement, les *lucarnes* ne peuvent s'élever à plus de 3 mètres de la base du comble, ni avoir une largeur de plus de 1m,50. Les jouées doivent être parallèles entre elles.

Arrêté préfectoral concernant les permissions de grande voirie

CHAPITRE PREMIER. — Forme des demandes

Article premier. — Toute demande de permission de grande voirie, ayant pour objet d'établir des constructions le long des routes, de modifier les façades de celles qui existent, de faire ou de supprimer des plantations régulières ou de former une entreprise quelconque sur le sol des voies publiques et de leurs dépendances, doit être faite sur papier timbré et adressée au préfet et au sous-préfet ; elle est présentée par le propriétaire ou en son nom, et contient l'indication exacte de ses nom, prénoms et domicile.

Elle désigne la commune où les travaux doivent être entrepris en ajoutant, dans les traverses, l'indication de la rue et du numéro de l'immeuble auquel ils se rapportent et, hors des traverses, celle des lieux dits, tenants et aboutissants, et des bornes kilométriques entre lesquelles ils doivent être exécutés.

CHAPITRE II. — Constructions neuves

Art. 2. — *Alignement par avancement.* — Lorsque la construction sur l'alignement doit avoir pour effet de réunir à la propriété riveraine une portion de la voie publique, les ingénieurs procèdent, contradictoirement avec le pétitionnaire, au métré et à l'estimation du terrain à abandonner. Le montant de l'estimation, contrôlé par les agents des domaines et arrêté par le préfet, est acquitté par le pétitionnaire, ou, en cas de contestation, déposé à la caisse des dépôts et consignations.

Il est formellement interdit au pétitionnaire d'occuper le terrain avant d'en avoir acquitté ou consigné le prix.

Le permissionnaire ne peut réclamer le tracé de son alignement, s'il n'est pas en mesure de justifier de ce paiement.

Art. 3. — *Alignement par reculement.* — Lorsque la construction sur l'alignement aura pour effet de réunir à la voie publique une partie de terrain riverain, il est procédé, comme ci-dessus, au métré et à l'estimation qui servent de base au règlement de l'indemnité.

Cette indemnité n'est exigible qu'à partir du jour où, sur la demande du permissionnaire, il aura été constaté que son terrain est définitivement réuni à la voie publique.

Art. 4. — *Règlement par le jury du prix des terrains acquis ou cédés par les riverains.* — A défaut d'arrangement amiable entre l'administration et le pétitionnaire, le prix du terrain à céder ou à acquérir est réglé conformément à la loi du 3 mai 1841 et à l'article 50 de la loi du 16 septembre 1807.

Art. 5. — *Dispositions relatives au cas de reculement.* — Un mur mitoyen, mis à découvert par suite du reculement d'une construction voisine, est soumis aux mêmes règles qu'une façade en saillie.

Le raccordement des constructions nouvelles avec des bâtiments ou murs en saillie ne peut être effectué qu'au moyen de clôtures provisoires, dont la nature et les dimensions sont réglées par l'arrêté d'autorisation. Toutefois les épaisseurs ne peuvent dépasser, en y comprenant les enduits et ravalement :

Pour les clôtures en briques, hourdées en mortier ou plâtre avec ou sans pans de bois..... 0m,12

Pour les clôtures en bois, avec remplissage en plâtre et plâtras, moellons, argile ou pisé..... 0m,16

Pour les clôtures en moellons, hourdés en mortier ou plâtre sans pans de bois..... 0m,25

Pour les clôtures en pisé et moellons, sans mortier ou en mortier de terre, avec enduit en terre..... 0m,40

Toutes liaisons entre les nouvelles et les anciennes maçonneries, tendant à réconforter celles-ci, sont formellement interdites.

Art. 6. — *Aqueducs sur les fossés de la route.* — L'écoulement des eaux ne peut être intercepté dans les fossés de la route.

Les dispositions et dimensions des aqueducs destinés à rétablir la communication entre la route et les propriétés riveraines sont fixées par l'arrêté qui autorise ces ouvrages; ils doivent toujours être établis de manière à ne pas déformer le profil normal de la route.

Art. 7. — *Haies et clôtures.* — Les haies sèches, barrières, palissades, clôtures à claire-voie ou levées en terre formant clôtures, sont placées, savoir :

Dans les traverses, sur l'alignement fixé pour les constructions; et hors des traverses, de manière à ne pas empiéter sur les talus de déblai et de remblai de la route.

Les haies vives sont déplacées à 0m,50 en arrière de ces alignements.

Art. 8. — *Avis à donner par le propriétaire et vérification des travaux.* — Tout propriétaire autorisé à faire une construction ou une clôture, ou à exécuter des ouvrages sur le sol de la route, doit indiquer à l'avance, à l'ingénieur de l'arrondissement, l'époque où les travaux seront entrepris, pour qu'il puisse être procédé par le conducteur à une première vérification, ou, si le propriétaire le demande, au tracé de l'alignement.

S'il s'agit d'une construction en maçonnerie, le permissionnaire

prévient une seconde fois l'ingénieur, dès que les premières assises au-dessus du sol sont posées.

Dans tous les cas, après l'achèvement des travaux, les agents de l'administration dressent un procès-verbal de récolement en double expédition, conformément aux dispositions de l'article 36 ci-après.

CHAPITRE III. — Constructions en saillies sur l'alignement

Art. 9. — *Interdiction de travaux confortatifs.* — Tous ouvrages confortatifs sont interdits dans les constructions en saillie sur l'alignement, tant aux étages supérieurs qu'au rez-de-chaussée.

Sont compris notamment dans cette interdiction :

Les reprises en sous-œuvre;

La pose de tirants, d'ancres ou d'équerres, et tous ouvrages destinés à relier le mur de face avec les parties situées en arrière de l'alignement;

Le remplacement par une grille de la partie supérieure d'un mur en mauvais état;

Des changements assez nombreux pour exiger la réfection d'une partie importante de la façade.

Art. 10. — *Travaux qui pourront être autorisés avec conditions spéciales.* — Peuvent être autorisés, dans le cas et sous les conditions énoncés dans les articles 11 à 17, les ouvrages suivants :

Les crépis ou rejointoiements;

L'établissement d'un poitrail;

L'exhaussement ou l'abaissement des murs et façades ;

La réparation totale ou partielle du chaperon d'un mur et la pose de dalles de recouvrement;

L'établissement d'une devanture de boutique:

Le revêtement des façades;

L'ouverture ou la suppression des baies.

Art. 11. — *Crépis et rejointoiements, portails, exhaussement ou abaissement des façades, réparation des chaperons et pose de dalles de recouvrement.* — L'exécution de crépis ou rejointoiement, la pose ou le renouvellement d'un poitrail, l'abaissement ou l'exhaussement des murs et façades, la réparation des chaperons d'un mur et la pose des dalles de recouvrement, ne seront permis que pour les murs et façades en bon état, qui ne présentent ni surplomb, ni crevasses profondes, et dont ces ouvrages ne puissent augmenter la solidité et la durée.

Il ne pourra être fait, dans les nouveaux crépis, aucun lancis en pierres ou autres matériaux durs.

Les reprises des maçonneries autour d'un poitrail ou des nouvelles baies seront faites seulement en moellons ou briques, et n'auront pas plus de 0m,25 de largeur.

L'exhaussement des façades ne pourra avoir lieu que dans le cas où le mur inférieur sera reconnu assez solide pour pouvoir supporter les nouvelles constructions. Les travaux seront exécutés de manière qu'il n'en résulte aucune consolidation du mur de face.

Art. 12. — *Devantures de boutiques.* — Les devantures se composeront d'ouvrages en menuiserie; il n'y sera employé que du bois de 0m,10 d'équarrissage au plus. Elles seront simplement appliquées sur la façade, sans être engagées sous le poitrail, et sans addition d'aucune pièce formant support pour les parties supérieures de la maison.

Art. 13. — *Revêtement des façades.* — L'épaisseur des dalles, briques, bois ou carreaux employés pour les revêtements des soubassements ne dépassera pas 0m,05.

Les revêtements au-dessus des soubassements au moyen de planches, ardoises ou feuilles métalliques, ne pourront être autorisés que pour les murs et façades en bon état.

Art. 14. — *Ouvertures de baies, portes bâtardes et fenêtres.* — Les linteaux des baies de portes bâtardes ou fenêtres à ouvrir seront en bois ; leur épaisseur dans le plan vertical n'excédera pas 0m,16, ni leur portée sur les points d'appui, 0m,20.

Le raccordement des anciennes maçonneries avec les linteaux et les reprises autour des baies ne seront faits qu'en petits matériaux et n'auront pas plus de 0m,25 de largeur.

Art. 15. — *Portes charretières.* — Les portes charretières pratiquées dans les murs de clôture ne pourront s'appuyer que sur les anciennes maçonneries ou sur des poteaux en bois. Les reprises autour des baies seront assujetties aux conditions fixées dans l'article précédent.

Art. 16. — *Suppression de baies.* — La suppression des baies pourra être autorisée sans conditions pour les façades en très bon état ; lorsque la façade sera reconnue ne pas remplir cette condition, les baies à supprimer seront fermées par une simple cloison, en petits matériaux de 0m,16 d'épaisseur au plus, dont le parement affleurera le nu intérieur du mur de face, le vide restant apparent à l'extérieur, et sans addition d'aucun montant ni support en fer ou en bois.

Art. 17. — *Avis à donner par le propriétaire.* — Tout propriétaire autorisé à faire une réparation doit indiquer à l'avance, à l'ingénieur de l'arrondissement, le jour où les travaux seront entrepris.

L'administration désigne, lorsqu'il y a lieu, ceux qui ne doivent être exécutés qu'en présence d'un de ses agents.

Art. 18. — *Travaux à l'intérieur des propriétés.* — Il est interdit de faire dans la partie retranchable d'une propriété aucune construction nouvelle, lors même que le terrain serait clos par des murs ou de toute autre manière, et que l'on ne toucherait pas au mur de face.

Les travaux à l'intérieur des maisons sont exécutés sous la responsabilité des propriétaires contre lesquels il est exercé des poursuites, dans le cas où ces travaux sont reconnus être confortatifs des murs de face.

CHAPITRE IV. — Saillies (voir p. 730).

. . . . . .

Art. 20. — *Occupation temporaire de la voie publique.* — Les échafaudages ou les dépôts de matériaux qu'il pourra être nécessaire de faire sur le sol de la route, pour l'exécution des travaux, seront éclairés pendant la nuit ; leur saillie sur la voie publique sera de 2 mètres au plus, et ce maximum pourra être réduit dans les traverses étroites.

Ils seront disposés de manière à ne jamais entraver l'écoulement des eaux sur la route ou ses dépendances Dans les villes, le permissionnaire pourra être tenu de les entourer d'une clôture.

Art. 21. — Il est interdit d'établir, de remplacer ou de réparer des marches, bornes, entrées de caves ou tous ouvrages de maçonnerie, en saillie sur les alignements et placés sur le sol de la voie publique.

Néanmoins il pourra être fait exception à cette règle pour ceux de ces ouvrages qui seraient la conséquence de changements apportés au niveau de la route, ou lorsqu'il se présenterait des circonstances exceptionnelles. Dans ce dernier cas, il devra en être référé à l'administration supérieure.

CHAPITRE V. — Dispositions concernant les baies du rez-de-chaussée et l'accès des portes cochères

Art. 22. — *Conditions pour l'ouverture des portes et fenêtres du rez-de-chaussée.* — Aucune porte ne pourra *s'ouvrir en dehors*, de manière à faire saillie sur la voie publique.

Les fenêtres et volets du rez-de-chaussée, qui s'ouvriraient en dehors, devront se rabattre sur le mur de face, le long duquel ils seront fixés.

Art. 23. — *Emplacement et accès des portes cochères.* — Sur les routes plantées, les portes charretières seront, autant que possible, placées au milieu de l'intervalle de deux arbres consécutifs.

Il sera posé devant les arbres, de chaque côté du passage, des bornes en pierre dure ou en bois ou des butte-roues en fonte.

Lorsqu'il existera, vis-à-vis des portes charretières, un trottoir ou une contre-allée réservée à la circulation des piétons, il y sera établi, suivant leur profil en travers normal, une chaussée de 3 mètres de largeur, qui sera en pavé ou en empierrement formé de menus matériaux.

La bordure du trottoir, lorsqu'il en existera, sera baissée dans l'emplacement du passage sur une longueur de 3 mètres, de manière à conserver $0^m,05$ de hauteur au-dessus du caniveau. Le raccordement de la partie baissée avec le reste du trottoir aura 1 mètre de longueur de chaque côté.

Ces divers ouvrages sont à la charge du propriétaire riverain.

CHAPITRE VI. — Trottoirs

Art. 24. — *Condition d'établissement des trottoirs.* — La nature et les dimensions des matériaux à employer dans la construction des trottoirs seront fixées par l'arrêté spécial qui autorisera ces ouvrages. Les bordures, ainsi que le dessus du trottoir, seront établis suivant les points de hauteur et les alignements fixés sur le plan du pétitionnaire.

Les extrémités du trottoir devront se raccorder avec les trottoirs voisins ou avec les revers, de manière à ne former aucune saillie.

Art. 25. — *Suppression des bornes.* — Partout où un trottoir sera construit, le riverain est tenu d'enlever les bornes qui se trouvent en saillie sur les façades des constructions.

CHAPITRE VII. — Écoulement des eaux. — Établissement d'aqueducs et de tuyaux

Art. 26. — Nul ne peut, sans autorisation, rejeter sur la voie publique les eaux insalubres provenant des propriétés riveraines.

Les eaux pluviales, lorsqu'elles auront été recueillies dans une gouttière, ainsi que celles provenant de l'intérieur des maisons, seront conduites jusqu'au sol par des tuyaux de descente, puis jusqu'au caniveau de la route, soit par une gargouille, s'il existe un trottoir ou dès qu'il en existera un, soit par un ruisseau pavé, s'il n'existe qu'un revers.

Art. 27. — *Écoulement sous la voie publique.* — Les particuliers peuvent être autorisés à établir, sous le sol des routes, des aqueducs ou conduits, pour l'écoulement ou la distribution des eaux ou du gaz, conformément aux dispositions spéciales qui seront réglées par l'arrêté d'autorisation et sous les conditions ci-après :

Art. 28. — *Conditions générales des autorisations pour l'établissement de tuyaux ou aqueducs sous la voie publique.* — Les tranchées longitudinales ne seront ouvertes qu'au fur et à mesure de la construction de l'aqueduc ou de la pose des tuyaux, et les tranchées transversales que sur la moitié de la largeur de la voie publique, de manière que l'autre moitié reste libre pour la circulation. Les parties de tranchées qui ne pourraient pas être comblées avant la fin de la journée seront défendues pendant la nuit par des barrières solidement établies et suffisamment éclairées.

Le remblai des tranchées, après la pose des conduites, sera fait par couches de 0m,20 d'épaisseur, et chaque couche sera pilonnée avec soin. On rétablira sur le remblai les pavages, chaussées d'empierrement, trottoirs et autres ouvrages qui auraient été démolis, en suppléant au déchet des vieux matériaux des matériaux neufs de bonne qualité, et en se conformant, pour l'exécution, à toutes les règles de l'art.

Ces travaux seront faits par le permissionnaire qui devra, pendant un an, les entretenir d'une manière continue. Toute négligence apportée à l'entretien sera constatée par un procès-verbal et déférée, par ce moyen, au conseil de préfecture.

Aussitôt après la rédaction de ce procès-verbal, l'ingénieur ordinaire fera exécuter d'office les réparations jugées nécessaires. Les dépenses seront, dans un délai de trois jours, remboursées à l'entrepreneur qui aura exécuté les travaux, et au domicile de ce dernier, par le permissionnaire, sur le vu d'un état dressé par l'ingénieur ordinaire, visé par l'ingénieur en chef, et rendu au besoin exécutoire par le préfet.

Le permissionnaire fera enlever, immédiatement après l'exécution de chaque partie du travail, les terres, graviers et immondices qui en proviendront, de manière à rendre la voie publique parfaitement libre.

Il se conformera à toutes les mesures de précaution qui lui seront indiquées, soit par les ingénieurs, soit par l'autorité locale.

Il devra faire les dispositions convenables pour ne porter aucun dommage aux voies d'écoulement, tels qu'aqueducs ou tuyaux déjà établis, soit par l'administration, soit par les particuliers.

Il ne pourra entreprendre ces travaux, ni les reprendre, s'il les a suspendus, sans en avoir prévenu à l'avance l'ingénieur de l'arrondissement ou le conducteur délégué.

Dans le mois qui suivra l'exécution des travaux, il déposera, au bureau de l'ingénieur ordinaire, un plan coté indiquant exactement le tracé des conduites et leurs divers embranchements, à l'échelle de 0m,005 pour 1 mètre.

Le permissionnaire ou son ayant cause devra, à toute époque, se conformer aux règlements d'administration ou de police en vigueur. Il sera tenu, sur une simple réquisition, de laisser visiter les ouvrages qui se rattachent à l'écoulement ou d'interrompre cet écoulement.

Il sera tenu, en outre, si l'administration le juge nécessaire, dans un intérêt de police ou de salubrité, d'ouvrir des tranchées sur les parties

de conduites qui lui seraient désignées, et de rétablir ensuite la voie sans pouvoir, à raison de ces faits, réclamer aucune indemnité.

L'Administration conserve d'ailleurs le droit de faire changer l'emplacement des conduites ou même de les supprimer, conformément aux articles 38 et 39 ci-après.

Art. 29. — *Tuyaux de conduite pour les eaux ou le gaz.* — Les tuyaux pour la distribution des eaux ou du gaz seront toujours posés à 0m,60 au moins de profondeur.

Art. 30. — *Dispositions relatives aux conduites débouchant dans un aqueduc situé sous la voie publique.* — Lorsqu'il s'agira de jeter les eaux d'une propriété riveraine dans un égout existant sous la voie publique, elles y seront amenées directement par un conduit dont les matériaux et les dispositions seront indiqués par l'arrêté d'autorisation.

Le percement dans la maçonnerie du pied-droit sera réduit aux dimensions strictement indispensables. Le raccordement sera exécuté avec soin en ciment ou en bon mortier hydraulique.

Le conduit sera muni, à son origine dans l'intérieur de la propriété, d'une cuvette avec grille, qui devra faire obstacle au passage des immondices.

Il est interdit d'introduire dans l'égout aucun liquide qui pourrait nuire à la salubrité ou à l'égout lui-même.

CHAPITRE VIII. — Plantations

Art. 31. — Nul ne peut exercer un acte quelconque de jouissance sur une plantation située sur le sol d'une route, sans autorisation préalable du préfet.

CHAPITRE IX. — Conditions générales des autorisations.

Art. 35. — *Durée générale des autorisations.* — Les autorisations ne sont valables que pour un an, à partir de la date des arrêtés, et sont périmées de plein droit, si l'on n'en a pas fait usage avant l'expiration de ce délai.

Art. 37. — *Réparations des dommages causés à la route.* — Aussitôt après l'achèvement de leurs travaux, les permissionnaires sont tenus d'enlever tous les décombres, terres, dépôt de matériaux, gravois et immondices, de réparer immédiatement tous les dommages qui auraient pu être causés à la route ou à ses dépendances, et de rétablir dans leur premier état les fossés, talus, accotements, chaussées ou trottoirs qui auraient pu être endommagés.

Art. 38. — *Entretien en bon état des ouvrages situés sur le sol de la route et de ses dépendances.* — Les ouvrages établis sur le sol de la voie publique et qui intéressent la viabilité, notamment ceux mentionnés dans les articles 6, 24, 26, 27, 28, 29 et 30 du présent règlement, seront toujours entretenus en bon état et maintenus conformes aux conditions de l'autorisation ; faute de quoi cette autorisation serait révoquée.

Art. 39. — *Suppression des ouvrages sans indemnité.* — Les permissions de pure tolérance, concernant les ouvrages mentionnés à l'article précédent, peuvent toujours être modifiées ou révoquées, en tout ou en partie, lorsque l'Administration le juge utile à l'intérêt public, et le permissionnaire est tenu de se conformer à ce qui lui est prescrit à ce sujet, sans qu'il puisse s'en prévaloir pour réclamer une indemnité.

Art. 40. — *Réserve des droits des tiers.* — Les autorisations de grande voirie ne sont données que sous toutes réserves des droits des tiers, des règlements faits par l'autorité municipale dans les limites de ses attributions, de ses servitudes militaires et de celles résultant du Code forestier.

Art. 41. — *Réserve concernant la police de petite voirie.* — Une permission de grande voirie accordée pour une propriété qui fait l'angle d'une voie communale ne préjuge rien sur les obligations qui peuvent être imposées par l'autorité locale, en ce qui concerne la façade sur la voie communale.

Percement de baies. — Lorsqu'on est obligé de percer, après coup, un mur pour y établir une baie de porte ou de croisée, le maçon refouille le mur pour placer un linteau, qu'il pose d'abord, en le tenant à une distance du parement du mur égale à l'épaisseur de l'enduit, et en garnissant parfaitement le dessus en y enfonçant des éclats de pierre ou des tuileaux à bain de plâtre ou de mortier. Le premier linteau posé, le maçon refouille l'emplacement des autres, qu'il pose comme le premier, puis il achève de percer le mur dans toute la largeur et la hauteur de la baie. Alors il garnit et redresse les jambages en les reliant parfaitement, puis il termine par le ravalement.

Lorsqu'il s'agit de couper un ou plusieurs trumeaux sur la façade d'un bâtiment, au rez-de-chaussée, pour y établir une grande ouverture surmontée d'un arceau et d'un poitrail, on étaye les croisées, en appliquant sur leurs tableaux des plates-formes serrées par des étrésillons; au milieu de chaque trumeau, un peu au-dessus de l'emplacement du poitrail, on fait un trou dans lequel on passe une pièce de bois d'une longueur suffisante pour faire une saillie de $0^{m},80$ sur chacun des parements du mur. Le maçon scelle cette traverse dans le mur; à chacune de ses extrémités, on place un étai dont le pied repose sur une plate-forme placée sur le sol, et l'on fixe ces étais à la traverse supérieure et à la plate-forme au moyen de rappointis en fer. Si les solives du plancher reposent sur le mur de face, on doit les étrésillonner.

Les précautions étant prises au droit de chaque trumeau, on démolit le bas de ceux qui doivent être supprimés au rez-de-chaussée. On fait les trous qui doivent recevoir les extrémités du poitrail, en en faisant un assez profond pour faciliter le *revêtissement;* on met le poitrail au levage, et, lorsqu'il est posé, on le scelle à ses extrémités, et on garnit le dessus de manière que la maçonnerie supérieure y soit bien assise et ne puisse éprouver aucun affaissement; alors on taille les faces du poitrail et on fait le ravalement.

Aussitôt le poitrail scellé à ses extrémités et garni à la partie supérieure, on enlève les étayements qui ont servi à sa pose.

Dimensions des différentes parties d'un édifice

Largeur de la façade d'un édifice. — L'axe de la façade d'un édifice doit passer par le milieu d'une ouverture, et les deux moitiés de la façade doivent être symétriques par rapport à cet axe.

Pour un pavillon isolé, la longueur de la façade est ordinairement égale à la hauteur.

Pour un édifice ordinaire, la longueur de la façade varie de 1 fois 1/2 à 3 fois la hauteur. Lorsque la destination du bâtiment exige une plus grande longueur, on fait varier la façade en élevant des *arrière-corps* ou des *avant-corps*, ou simplement en la divisant par des chaînes saillantes ; malgré ces précautions, dans aucun cas, la largeur ne doit dépasser 10 fois la hauteur, limite qu'il ne convient d'atteindre que pour les casernes, magasins, ateliers.

Règles de composition. — Pour un pavillon d'angle, le rapport de la hauteur à la largeur doit être plus grand que l'unité.

Une *tour ronde* a les proportions d'une colonne ; la hauteur est égale à 4 ou 6 fois le diamètre à la base.

Les chaînes, les piliers, les contreforts, les consoles, tous les

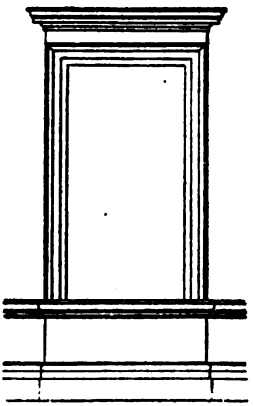


Fig. 472. — Baie ornée d'un cadre ou *chambranle* et d'une corniche.

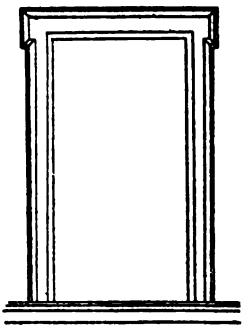


Fig. 473. — Baie ornée d'un chambranle.

membres d'architecture qui concourent à la solidité, doivent apparaître sur la façade. Les linteaux et dosserets des fenêtres sont soulignés par un bandeau, dit *chambranle* (*fig.* 472 à 474), ou par des chaînes.

On évitera la monotonie dans le sens de la hauteur par des

bandeaux, *cordons* ou *corniches*, au droit des planchers ; par des *balcons*, des *balconnets*.

Les fenêtres sont surmontées, au-dessus du bandeau, d'une *frise* et d'une *corniche* (*fig.* 474) ; la largeur de la frise et celle de la corniche égalent celle du bandeau, savoir : 1/5 à 1/6 de la largeur de la fenêtre ; la saillie de la corniche est moindre que sa hauteur. On les surmonte encore d'un fronton soutenu par deux consoles dont la largeur est la moitié de celle du bandeau.

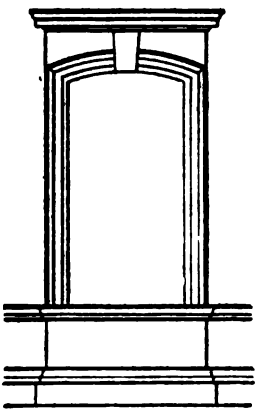


Fig. 474. — Baie ornée d'un chambranle et d'une corniche.

Le *porche*, espace couvert, à jour latéralement s'il forme avant-corps sur la façade ; il est ouvert par devant seulement, s'il est à l'intérieur de l'édifice. Son ornementation doit être très simple. Dans les maisons de moindre importance qu'un édifice, le porche est remplacé par un auvent, une véranda.

Le *vestibule*, qui est la pièce par où l'on pénètre dans l'édifice, dans la maison, et qui peut servir quelquefois de salle d'attente, aura une ornementation plus recherchée ; on y construit des niches, des pilastres adossés, s'il est petit ; des piliers ou colonnes isolées, s'il est grand. Dans les maisons particulières, il reçoit des boiseries, des tentures, des lampes, des meubles.

Les salles de grande largeur et longueur seront divisées par deux files de piliers en une nef et en deux bas-côtés. L'éclairage latéral est mauvais pour ces salles, surtout si elles sont peu élevées. L'éclairage par le haut est préférable. Les salles très élevées pourront recevoir le jour par des fenêtres élevées. Le rapport de la hauteur à la largeur d'une salle est 1, si elle est ronde ; il est plus grand que 1 pour une salle oblongue, et plus petit que 1 pour une salle carrée.

Les *galeries* sont des salles ayant une longueur plus grande que 2 fois la largeur. Si la longueur est plus grande encore, on les subdivise en travées par des pilastres, des colonnes soutenant des arcs-doubleaux. Le centre de la voûte de la galerie est d'autant plus élevé que la salle est plus longue.

Dans les salles en berceau, dont la longueur est petite relativement à la hauteur, on supprime les corniches de lambris qui gêneraient la vue de l'ornementation du berceau.

Dans les salles à plafond, on garde les corniches, si toutefois elles y font bon effet.

Les proportions des salles dépendent de leur destination. Les salles à manger oblongues sont généralement d'un bon effet, tandis que les salles de réunion, les salons, sont mieux quand ils sont carrés.

La symétrie est de règle absolue pour les appartements soi-

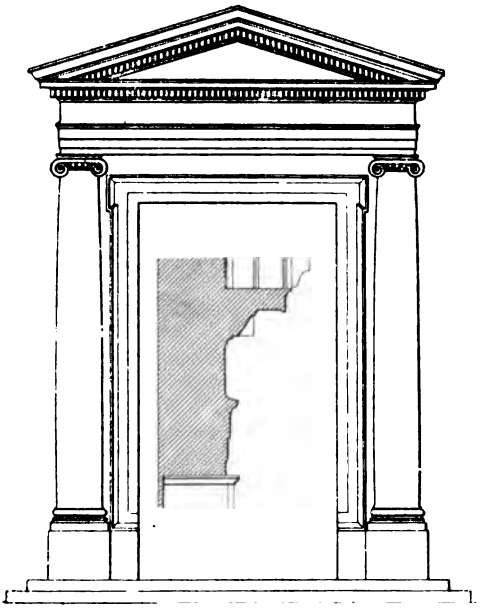


Fig. 475. — Porte décorée de deux colonnes et d'un fronton.

gnés. Si la disposition des lieux présentait des figures irrégulières, on les régulariserait par des cloisons, des menuiseries, utilisant les espaces retirés des salles à faire des dégagements ou des armoires. La symétrie doit exister dans les fenêtres, dans les portes, en faisant au besoin des portes figurées servant de pendant à des portes réelles.

Hauteur des maisons. — Hauteur des étages. — Combles et lucarnes. — Dimensions des cours et des courettes (DÉCRET DU 23 JUILLET 1884).

PREMIÈRE SECTION. — *De la hauteur des bâtiments bordant les voies publiques*

ART. 1er. — La hauteur des bâtiments bordant les voies publiques dans la ville de Paris est déterminée par la largeur légale de ces

voies publiques pour les bâtiments alignés, et par la largeur effective pour les bâtiments retranchables.

Cette hauteur, mesurée du trottoir ou du revers pavé au pied de la façade du bâtiment, et prise au point le plus élevé du sol, ne peut excéder, y compris les entablements, attiques et toutes les constructions à plomb des murs de face, savoir:

12 mètres pour les voies publiques au-dessous de 7m,80 de largeur;

15 mètres pour les voies publiques de 7m,80 à 9m,74 de largeur;

18 mètres pour les voies publiques de 9m,74 à 20 mètres de largeur.

20 mètres pour les voies publiques (places, carrefours, rues, quais, boulevards, etc.) de 20 mètres de largeur et au dessus.

Le mode de mesurage indiqué au paragraphe 2 du présent article ne sera applicable pour les constructions en bordure des voies en pente que pour les bâtiments dont la longueur n'excède pas 30 mètres ; au-delà de cette longueur, les bâtiments seront abaissés suivant la déclivité du sol.

Si le constructeur établit plusieurs maisons distinctes, la hauteur sera mesurée séparément pour chacune de ces maisons suivant les règles énoncées ci-dessus.

Art. 2. — Les bâtiments dont les façades seront construites, partie à l'alignement, partie en arrière de l'alignement, soit par suite du retrait à n'importe quel niveau d'une partie du mur de face, soit à fruit ou de toute autre manière, devront être renfermés dans le même périmètre que les bâtiments construits entièrement à l'alignement.

Art. 3. — Tout bâtiment situé à l'angle de voies publiques d'inégale largeur peut être élevé sur les voies plus étroites jusqu'à la hauteur fixée pour la plus large, sans que toutefois la longueur de la partie de la façade ainsi élevée sur les voies les plus étroites puisse excéder deux fois et demie la largeur légale de ces voies. .

Cette disposition ne peut être invoquée que pour les bâtiments construits à l'alignement déterminé par ces voies publiques.

Si ces voies communiquant entre elles sont placées à des niveaux différents, la cote qui servira à déterminer la hauteur de la construction sera la moyenne des cotes prises au point le plus élevé sur chaque voie, à la condition qu'en aucun point la hauteur réelle de la façade ne dépasse de plus de 2 mètres la hauteur légale.

Art. 4. — Pour les bâtiments autres que ceux dont il est parlé en l'article précédent et qui occupent tout l'espace compris entre des voies d'inégales largeurs ou de niveaux différents, chacune des façades ne peut dépasser la hauteur fixée en raison de la largeur ou du niveau de la voie publique sur laquelle elle est située.

Toutefois, lorsque la plus grande distance entre les deux façades d'un même bâtiment n'excède pas 15 mètres, la façade bordant la voie publique la moins large ou du niveau le plus bas peut être élevée à la hauteur fixée pour la voie la plus large ou du niveau le plus élevé.

Deuxième Section. — *De la hauteur des bâtiments ne bordant pas les voies publiques*

Art. 5. — Les bâtiments, dont toute la façade est établie en retrait des voies publiques, pourront être élevés, soit à la hauteur de 15 mètres, soit à celle de 18 mètres, soit à celle de 20 mètres, mesurée du pied de la

construction, à la condition que le retrait sur l'alignement, ajouté à la largeur de la voie, donnera au moins une largeur de 7m,80 dans le premier cas, de 7m,74 dans le second cas, et de 20 mètres dans le troisième cas.

Les bâtiments situés en retrait de l'alignement dans les voies publiques de 20 mètres ne pourront pas être élevés à une hauteur supérieure à 20 mètres.

Art. 6. — Les hauteurs des bâtiments établis en bordures des voies privées, des passages, impasses, cités et autres espaces intérieurs, seront déterminées d'après la largeur de ces voies ou espaces, conformément aux règles fixées à l'article 1er pour les bâtiments en bordure des voies publiques.

Troisième Section. — *Du nombre et de la hauteur des étages*

Art. 7. — Dans les bâtiments, de quelque nature qu'ils soient, il ne pourra, en aucun cas, être toléré plus de sept étages au-dessus du rez-de-chaussée, entresol compris, tant dans la hauteur du mur de face que dans celle du comble, telles que ces hauteurs sont déterminées par les articles 1, 9, 10 et 11.

Art. 8. — Dans les bâtiments, de quelque nature qu'ils soient, la hauteur du rez-de-chaussée ne pourra jamais être inférieure à 2m,80 mesurée sous plafond. La hauteur des sous-sols et des autres étages ne devra pas être inférieure à 2m,60 mesurée sous plafond. Pour les étages dans les combles, cette hauteur de 2m,60 s'applique à la partie la plus élevée du rampant.

DES COMBLES AU-DESSUS DES FAÇADES

Art. 9. — Pour les bâtiments construits en bordures des voies publiques, le profil du comble, tant sur les façades que sur les ailes, ne peut dépasser un arc de cercle dont le rayon sera égal à la moitié de la largeur légale ou effective de la voie publique, ainsi qu'il est dit à l'article 1er, sans toutefois que ce rayon puisse être jamais supérieur à 8m,50. Si la largeur de la voie est inférieure à 10 mètres, le constructeur aura cependant droit à un rayon minimum de 5 mètres. Quelles que soient la forme et la hauteur du comble, toutes les saillies qu'il pourrait présenter devront être renfermées dans l'arc de cercle, considéré comme un gabarit dont on ne devra pas sortir.

Le point de départ de l'arc de cercle sera placé à l'aplomb de l'alignement des murs de face et le centre à la hauteur légale du bâtiment, telle qu'elle est déterminée par l'article 1er.

Art. 10. — Les dispositions de l'article 9, sauf en ce qui concerne la détermination du rayon du comble, sont applicables :

1° Aux bâtiments construits en retrait des voies publiques, ainsi qu'il est dit à l'article 5 ;

2° Aux bâtiments situés en bordure des voies privées, des passages, impasses, cités et autres espaces intérieurs.

Dans ces cas, le rayon du comble sera calculé d'après la largeur moyenne de l'espace libre au droit de la façade du bâtiment et égale à la moitié de cette largeur dans les conditions déterminées par l'article 9.

Toutefois les cages d'escalier pratiquées sur les cours pourront sor-

tir du périmètre indiqué ci-dessus, de manière à pouvoir s'élever jusqu'au plafond du dernier étage desservi par lesdits escaliers.

Art. 11. — Pour les constructions situées à l'angle des voies publiques d'inégales largeurs, dont il est parlé à l'article 3, le comble pour le bâtiment en façade sur la voie publique la plus large sera déterminé d'après les bases indiquées à l'article 9 et pourra être retourné avec les mêmes dimensions sur toute la partie du bâtiment en façade sur la voie la plus étroite dans les limites déterminées par l'article 3.

Art. 12. — Les murs de dossier et les tuyaux de cheminée ne pourront percer la ligne rampante du comble qu'à 1m,50 mesurée horizontalement du parement extérieur du mur de face à sa base, ni s'élever à plus de 0m,60 au-dessus de la hauteur légale du sommet du comble.

Art. 13. — La face extérieure des lucarnes et œils-de-bœuf peut être placée à l'aplomb du parement extérieur du mur de face donnant sur la voie publique, mais jamais en saillie.

Le couronnement des lucarnes ou œils-de-bœuf, établis soit en premier, soit en second rang, ne pourra faire saillie de plus de 0m,50 sur le périmètre légal, mesurés suivant le rayon dudit périmètre.

L'ensemble produit par les large urs cumulées des faces des lucarnes d'un bâtiment ne pourra excéder les deux tiers de la longueur de face de ce bâtiment.

Art. 14. — Les constructeurs qui n'élèvent pas les façades de leurs bâtiments à toute la hauteur permise jouiront de la faculté d'établir les autres parties de leurs bâtiments suivant leur convenance, sans pouvoir toutefois sortir du périmètre légal, tel qu'il est déterminé, tant pour les façades que pour les combles, par les dispositions des 1re et 2e sections du titre Ier et du titre II.

Art. 15. — Les dispositions du présent titre sont applicables à tous les bâtiments situés ou non en bordure des voies publiques.

DES COURS ET COURETTES

Art. 16. — Dans les bâtiments, de quelque nature qu'ils soient, dont la hauteur ne dépasserait pas 18 mètres, les cours sur lesquelles prendront jour et air des pièces pouvant servir à l'habitation n'auront pas moins de 30 mètres de surface, avec une largeur moyenne qui ne pourra être inférieure à 5 mètres.

Art. 17. — Dans les bâtiments élevés sur la voie publique à une hauteur supérieure à 18 mètres, mais dont les ailes ne dépasseraient pas cette hauteur, les cours devront avoir une surface minima de 40 mètres, avec une largeur moyenne qui ne pourra être inférieure à 5 mètres.

Lorsque les ailes de ces bâtiments auront également une hauteur supérieure à 18 mètres, les cours n'auront pas moins de 60 mètres de surface, avec une largeur moyenne qui ne pourra être inférieure à 6 mètres.

Art. 18. — La cour de 40 mètres ne sera pas exigée pour les constructions établies sur des terrains prenant façade sur plusieurs voies et d'une dimension telle qu'il ne puisse y être élevé qu'un corps de bâtiment occupant tout l'espace compris entre ces voies.

Art. 19. — Toute courette qui servira à éclairer et aérer des cui-

sines devra avoir au moins 9 mètres de surface, et la largeur moyenne ne pourra être inférieure à 1m,80.

Art. 20. — Toute courette sur laquelle seront exclusivement éclairés et aérés des cabinets d'aisance, vestibules ou couloirs, devra avoir au moins 4 mètres de surface avec une largeur qui ne pourra en aucun point, être moindre de 1m,60.

Art. 21. — Au dernier étage des corps de logis, on pourra tolérer que des pièces servant à l'habitation prennent jour et air sur les courettes, à la condition que lesdites courettes aient une surface de 5 mètres au moins.

Art. 22. — Il est interdit d'établir des combles vitrés dans les cours ou courettes, au-dessus des parties sur lesquelles sont aérés et éclairés soit des pièces pouvant servir à l'habitation, soit des cuisines, soit des cabinets d'aisance, à moins qu'ils ne soient munis d'un châssis ventilateur à faces verticales, dont le vide aura au moins le tiers de la surface de la cour ou courette et 0m,40 au minimum de hauteur, et qu'il ne soit établi, à la partie inférieure, des orifices prenant l'air dans les sous-sols ou caves et ayant au moins 8 décimètres carrés de surface.

Le châssis ventilateur ne sera pas exigé pour les cours et courettes sur lesquelles ne seront aérés ni éclairés soit des pièces pouvant servir à l'habitation, soit des cuisines, soit des cabinets d'aisances ; mais les courettes dont la partie inférieure ne sera pas en communication avec l'extérieur devront être ventilées.

Art. 23. — Lorsque plusieurs propriétaires auront pris, par acte notarié, l'engagement envers la ville de Paris de maintenir à perpétuité leurs cours communes, et que ces cours auront ensemble une fois et demie la surface réglementaire, les propriétaires pourront être autorisés à élever leurs constructions à la hauteur correspondant à ladite surface réglementaire.

En cas de réunion de plusieurs cours, la hauteur des clôtures ne pourra excéder 5 mètres.

Art. 24. — Dans aucun cas, les surfaces des courettes ne pourront être réunies pour former soit une courette, soit une cour d'une dimension réglementaire.

Art. 25. — Toutes les mesures des cours et courettes sont prises dans œuvre.

DISPOSITIONS DIVERSES

Art. 26. — Les dispositions qui précèdent ne sont pas applicables aux édifices publics.

L'administration pourra, pour les constructions privées ayant un caractère monumental ou pour des besoins d'art, de science ou d'industrie, autoriser des modifications aux dispositions relatives à la hauteur des bâtiments après avis du Conseil général des Bâtiments civils et avec l'approbation du Ministre de l'Intérieur.

Logements insalubres. — En vertu d'une loi du 13 avril 1850, une Commission est instituée à Paris pour rechercher les logements insalubres, indiquer les travaux à faire pour les rendre salubres, et, si le propriétaire se refuse à les faire, le condamner

à une amende de 100 francs pour la première fois, et du montant, et même du double des travaux à faire, pour la seconde.

Décret du 26 mars 1852, sur la grande voirie de Paris

Art. 2. — Dans tout projet d'expropriation pour l'élargissement, le redressement ou la formation des rues de Paris, l'administration aura le droit de comprendre la totalité des immeubles atteints lorsqu'elle jugera que les parties restantes ne sont pas d'une étendue ou d'une forme qui permette d'y élever des constructions salubres.

Elle pourra pareillement comprendre, dans l'expropriation, des immeubles en dehors des alignements, lorsque leur acquisition sera nécessaire pour la suppression d'anciennes voies publiques jugées inutiles.

Les parcelles de terrain acquises en dehors des alignements, et non susceptibles de recevoir des constructions salubres, seront réunies aux propriétés contiguës, soit à l'amiable, soit par l'expropriation de ces propriétés, conformément à l'article 53 de la loi du 16 septembre 1807.

La fixation du prix de ces terrains sera faite suivant les mêmes formes et devant la même juridiction que celle des expropriations ordinaires.

L'article 58 de la loi du 3 mai 1841 est applicable à tous les actes et contrats relatifs aux terrains acquis pour la voie publique par simple mesure de voirie.

Art. 3. — A l'avenir, l'étude de tout plan d'alignement de rue devra nécessairement comprendre le nivellement; celui-ci sera soumis à toutes les formalités qui régissent l'alignement.

Tout constructeur de maison, avant de se mettre à l'œuvre, devra demander l'alignement et le nivellement de la voie publique au-devant de son terrain, et s'y conformer.

Art. 4. — Il devra pareillement adresser à l'administration un plan et des coupes cotés des constructions qu'il projette, et se soumettre aux prescriptions qui lui seront faites dans l'intérêt de la sûreté publique et de la salubrité.

Vingt jours après le dépôt de ces plans et coupes au secrétariat de la préfecture de la Seine, le constructeur pourra commencer les travaux d'après son plan, s'il ne lui a été notifié aucune injonction.

Une coupe géologique des fouilles pour fondation du bâtiment sera dressée par tout architecte constructeur, et remise à la préfecture de la Seine.

Art. 6. — Les façades de maisons seront constamment tenues en bon état de propreté. Elles seront grattées, repeintes ou badigeonnées au moins une fois tous les dix ans, sur l'injonction qui sera faite au propriétaire par l'autorité municipale. Les contrevenants seront passibles d'une amende qui ne pourra excéder 100 francs.

Art. 6. — Toute construction nouvelle dans une rue pourvue d'égout devra être disposée de manière à y conduire les eaux pluviales et ménagères.

La même disposition sera prise pour toute maison ancienne en cas de grosses réparations, et, en tout cas, avant dix ans.

Art. 8. — Les propriétaires riverains des voies publiques empierrées

supporteront les frais de premier établissement des travaux, d'après les règles qui existent à l'égard des propriétaires riverains des rues pavées.

Permission de construire. — Pour obtenir un alignement ou une permission de construire, ravaler, percer, réparer, exhausser et changer d'une manière quelconque des murs de face sur la voie publique, ou encore d'établir de grands balcons, etc., la demande doit être adressée, sur papier timbré, à M. le préfet de la Seine.

Pour établir des devantures, des montres, des tableaux, des enseignes, des petits balcons, etc., la demande s'adresse, sur papier timbré, à M. le préfet de police.

Division de la hauteur d'un bâtiment. — Hauteur des étages. Pour un bâtiment à deux étages, on divise la hauteur totale en 16 parties égales, et l'on donne 7 parties au rez-de-chaussée, 5 au premier étage et 4 au second.

Pour un bâtiment à un seul étage, on divise la hauteur totale en 12 parties égales, 7 parties pour le rez-de-chaussée et 5 pour l'étage.

Mandar donne, pour les maisons d'habitation, les hauteurs suivantes :

Caves.	Rez-de-chaussée.	Entresol.
2m,27 à 2m,92	3m,25 à 4m,22 jusqu'à 5m,20	2m,27 à 2m,60

1er étage.	2e étage.	3e étage.	4e étage.
3m,25 à 3m,90 et jusqu'à 5m,85	2m,92 à 3m,90	2m,60 à 2m,92	2m,27 à 2m,60

Le même auteur compte de 0m,41 à 0m,54 pour les épaisseurs des voûtes de caves, plus 0m,11 à 0m,16 de charge, et de 0m,41 à 0m,49 pour les épaisseurs des planchers, y compris carreau ou parquet et plafond.

Une décision du 10 septembre 1856 a indiqué 2m,60 au moins de hauteur pour les *entresols* des constructions nouvelles. Dans le cas de modifications importantes dans les étages existants, la hauteur de ces étages devra être portée à 2m,60. Dans le cas où un bâtiment qui ne serait élevé que d'un rez-de-chaussée et d'un entresol ayant moins de 2m,60 serait exhaussé, on devrait alors donner 2m,60 de hauteur à cet entresol.

Arcades (*fig.* 476 et 477). — Quand on veut conserver aux murs la plus grande solidité possible, ce qui est indispensable dans les entrepôts, les magasins, etc., la hauteur de l'arcade est seulement égale à une fois la largeur entre les piliers; dans quelques édifices, elle est égale à 1 fois 1/2 cette largeur, et dans les portiques ordinaires elle est égale à deux fois.

Quand les arcades sont séparées entre elles par un accouplement de colonnes, l'entr'axe des colonnes accouplées est la moitié

de l'entr'axe des colonnes qui limitent l'arcade, c'est-à-dire le 1/3 de la largeur totale de l'arcade, mais seulement pour les ordres inférieurs; pour les ordres élevés, l'entr'axe des colonnes accouplées est le 1/4 de l'entr'axe total.

Dans les arcades sur piliers, la largeur du pilier est égale à la moitié de l'ouverture de l'arcade, c'est-à-dire au 1/3 de l'entr'axe des piliers. On peut diminuer cette largeur : ainsi, rue

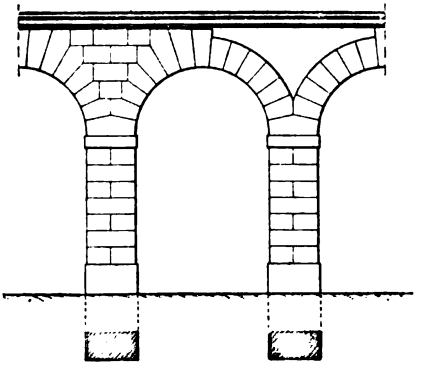


Fig. 476. — Arcade avec *imposte* en saillie à la naissance de l'arc.

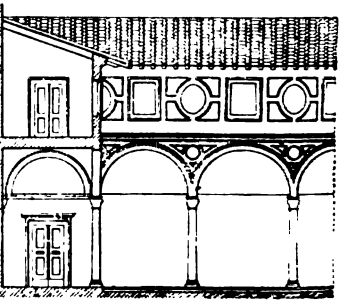


Fig. 477. — Portique à arcades sur colonnes.

de Rivoli, les piliers ont $0^m,86$ de largeur sur $0^m,65$ d'épaisseur, pour une distance de $2^m,86$ mesurée entre les piliers; ces arcades

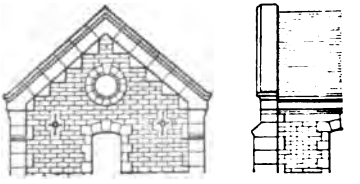


Fig. 478.

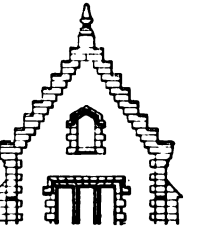


Fig. 479.

ont $5^m,83$ de hauteur, la distance des piliers aux pilastres qui leur font symétrie contre les devantures de boutiques est de $3^m,40$; les dés servant de base aux piliers ont $0^m,75$ de hauteur, et ils font saillie de $0^m,05$ tout autour de ces piliers.

Frontons (*fig.* 475). — Leur montée varie de 1/5 à 1/6 de leur largeur.

Les frontons servent souvent à couronner les murs pignons (*fig.* 478 et 479).

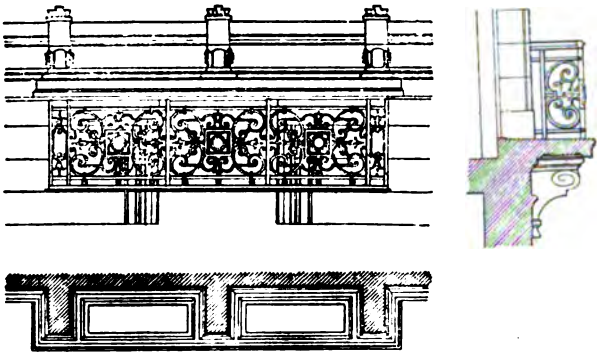


Fig. 480. — Balcon.

Portes et croisées. — Les deux dimensions des portes et croisées sont entre elles dans le même rapport que les dimensions

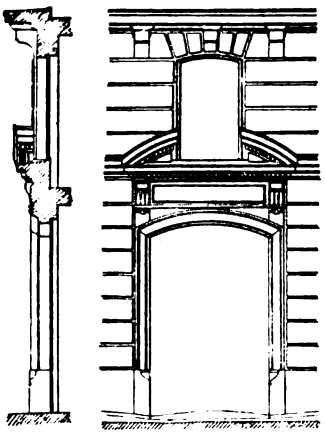


Fig. 481. — Porte cochère surmontée d'une fenêtre.

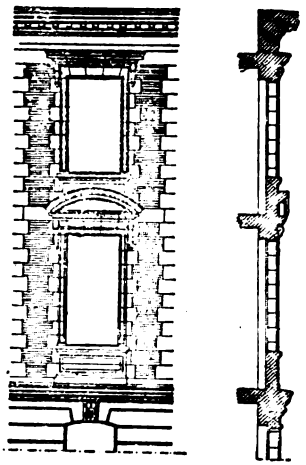


Fig. 482. — Fenêtres d'étages.

des arcades : ainsi, la hauteur varie de 1 fois à 2 fois la largeur, et même, pour les entresols, la hauteur des croisées n'est quelquefois que les 2/3 de la largeur.

Une croisée carrée prend le nom de *mezzanine*.

Pour l'ordre toscan, la hauteur des portes et croisées se fait

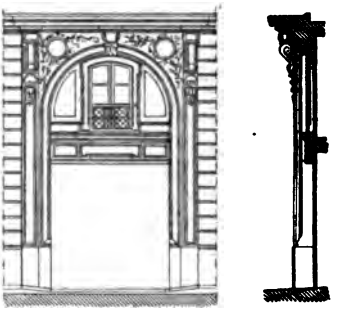


Fig. 483. — Arcade englobant une porte d'entrée et une fenêtre.

également à 1 fois 11/12 la largeur, pour le dorique 2 fois, pour l'ionique 2 fois 1/2, et pour le corinthien 2 fois 1/6.

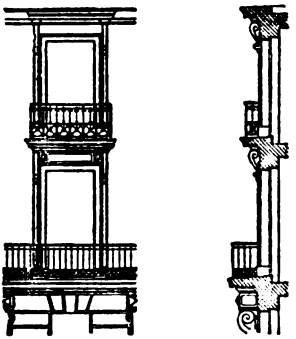


Fig. 484. — Fenêtres d'étages.

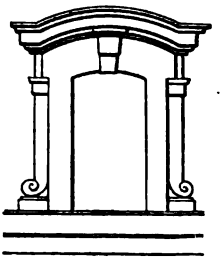


Fig. 485. — Lucarne.

La hauteur des fenêtres diminue quand on s'élève, ainsi que le rapport de la hauteur à la largeur.

Dimensions des portes et croisées, et hauteur des appuis,
d'après MANDAR

Portes	charretières			2m,92 à 3m,25 de largeur		
	cochères			2 ,60 à 2 ,92 —		
	bâtardes			1 ,30 à 1 ,62 —		
	d'appartement	à 2 vantaux	largeur..	1m,30	1m,46	1m,62
			hauteur..	2 ,27	2 ,60	2 ,92
		à 1 vantail	largeur..	0 ,73	0 ,81	0 ,89
			hauteur..	1 ,95	2 ,27	2 ,44

La hauteur des appartements étant successivement :

2m,27 2m,60 2m,92 3m,25 3m,90 et 5m,50 à 5m,85,

la hauteur des lambris d'appui est respectivement :

0m,76 0m,81 0m,86 0m,89 0m,97 1m,06

Largeur des croisées	grandes...	1m,62 à 1m,79	Hauteur des	appuis....	0m,89 à 1m,06
	moyennes	1 ,46 à 1 ,54		baguettes.	0 ,35 à 0 ,41
	petites....	1 ,14 à 1 ,30		balcons...	0 ,54 à 0 ,65

Châssis à tabatière pour les combles.....	Hauteur.....	0m,81	0m,97	1m,14	1m,30
	Largeur.....	0 ,65	0 ,73	1 ,81	0 ,97

Salles. — Pour les grandes salles de réunion, le rapport de la hauteur à la largeur est :

1° Pour les salles voûtées, la largeur étant prise dans la nef, de..... 1 à 1,5
2° Pour les salles rondes voûtés..... 1
3° Pour les salles oblongues couvertes d'un plafond.. 1
4° Pour les salles carrées couvertes d'un plafond, moins de.. 1

La hauteur des salles d'habitation varie de moins de la moitié de la largeur à une fois cette largeur.

Superficie, en mètres carrés, des différentes pièces qui composent un appartement (MANDAR)

	PETITS		MOYENS		GRANDS		
Salons	15,19 à	22,79	34,19 à	45,58	56,98 à	68,38 et jusqu'à	79,77
Salles	13,30	18,99	28,49	37,99	45,58	56,98	68,38
Chambres à coucher.	11,40	15,20	24,69	30,39	37,99	45,58	56,98
Cages d'escaliers....	9,50	13,30	18,99	24,69	30,39	37,99	45,58
Antichambres, vestibules.....	7,60	11,40	15,20	18,99	24,69	30,39	37,99
Cabinets.....	5,70	7,60	11,40	15,20	18,99	22,79	30,39

Galeries. — Lorsque la longueur d'une salle dépasse 2 fois la largeur, elle prend le nom de *galerie*, et lorsque la longueur d'une galerie est très grande par rapport à la largeur, on la divise en travées, soit par des arcs-doubleaux, soutenus à l'aide de pilastres ou de colonnes, soit par tout autre moyen. Plusieurs galeries du Louvre offrent des exemples de ce genre de division.

Salles à manger et tables, salles de billard, salons, chambres à coucher, etc. — La largeur d'une table à manger est ordinairement de 1m,30. Quelquefois on lui donne 2 mètres ; mais alors on place au milieu un surtout. Dans tous les cas, elle se termine à chaque extrémité par un demi-cercle. Pour qu'on puisse circuler autour de la table, la distance qui la sépare des murs de la salle

doit être de 0m,90 à 1 mètre à ses extrémités, et de 1m,25 à 1m,35 latéralement.

Pour une salle de billard, il faut un espace de 2 mètres entre le billard et les murs de la salle.

Cheminées[1]. — La mode de placer des glaces sur les cheminées a fait diminuer de jour en jour leurs dimensions. Les plus grandes n'ont que 1m,95 de largeur sur 1m,30 de hauteur; souvent celles des petits appartements n'ont que 1m,25 de largeur sur 1 mètre de hauteur, et l'on en fait qui n'ont que 0m,80 sur 0m,80. La largeur des jambages et du manteau est le 1/10 environ de la largeur de la cheminée : ainsi, pour les premières, elle est de 0m,195; pour les secondes, 0m,125, et pour les plus petites, 0m,08. La profondeur varie de 0m,45 à 0m,80.

Proportions des cheminées, suivant les dimensions des pièces où elles se trouvent

	PIÈCES		
	PETITES	MOYENNES	GRANDES
Largeur dans œuvre...	0m,81 à 0m,97	1m,14 à 1m,30	1m,62 à 1m,95
Hauteur de la tablette..	0 ,89 0 ,97	0 ,97 1 ,03	1 ,14 1 ,30
Largeur de la tablette.	0 ,27 0 ,32	0 ,35 0 ,38	0 ,40 0 ,43

Le diamètre du tuyau d'une cheminée d'appartement varie de 0m,20 à 0m,25. Quelquefois, afin de faciliter la ventilation, on porte la section des tuyaux à 25 ou 27 décimètres carrés, 0m,80 sur 0m,32.

Rumfort rétrécit à 0m,12 ou 0m,15 de large l'orifice de communication du foyer avec le tuyau, de manière à réduire à 0mq,04 ou 0mq,06 la section de cet orifice; il diminua de près de moitié la profondeur du foyer et le termina latéralement par des murs inclinés à 45°.

Lhomond a ajouté le tablier mobile en tôle. La distance du tablier au contre-cœur n'est que de 0m,15, et à une hauteur de 0m,30 ce contre-cœur porte des briques qui ne laissent plus à l'ouverture que 0m,05 de largeur.

Escaliers. — Afin qu'on ne se fatigue pas trop en montant un escalier, la distance verticale de deux paliers successifs ne doit pas dépasser 2m,50 à 3 mètres.

La hauteur de la rampe varie de 0m,89 à 1m,06.

La longueur des marches varie de 1m,62 à 1m,95 pour les grands

[1] Voir, plus loin, *Chauffage*.

escaliers, de $1^m,30$ à $1^m,46$ pour les moyens, de $0^m,97$ à $1^m,14$ pour les petits et de $0^m,65$ à $0^m,81$ pour ceux de dégagement.

La hauteur des marches est moyennement égale à la moitié du giron, elle varie de $0^m,13$ à $0^m,19$, mais en sens inverse du giron.

On peut déterminer la hauteur ou la largeur des marches d'escaliers, quand l'une de ses dimensions est connue, à l'aide de la formule empirique :

$$2h + l = 0^m,65.$$

h, hauteur de la marche ;
l, largeur du giron ou *emmarchement*.
Si $h = 0$, on a $l = 0^m,65$, qui est le pas d'infanterie.
Si $l = 0$, on a $h = 0^m,325$, qui est l'espacement des échelons d'une échelle.

Faisant successivement dans la formule précédente l égale à :

$0^m,27$ $0^m,30$ $0^m,32$ $0^m,35$ $0^m,38$

on en conclut respectivement pour h :

$0^m,19$ $0^m,175$ $0^m,165$ $0^m,15$ $0^m,135$,

valeurs qu'il convient d'adopter dans la pratique.

Un escalier de dégagement peut avoir $0^m,65$ à $0^m,81$ de largeur de marches ; un escalier moyen aura de $1^m,20$ à 1^m50 ; et un grand escalier de $1^m,50$ à 2 mètres.

Rapport des pleins aux vides. — D'après Tom Richard, comme

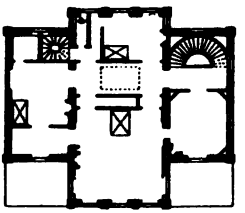


Fig. 486. — Etage d'une petite maison de campagne. (Toutes les pièces importantes ont une entrée directe snr l'antichambre.)

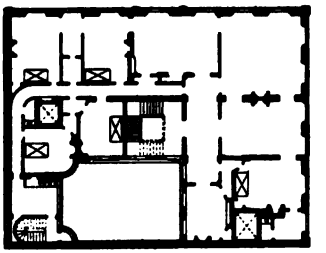


Fig. 487. — Plan d'appartement.

rapport convenable entre la largeur des pleins et celle des vides, on peut adopter : $\frac{\text{plein}}{\text{vide}} = \frac{5}{3}$. Dans la construction des usines on fait souvent les pleins égaux aux vides. Lorsque les pleins sont

trois fois plus larges que les vides, la construction commence à être trop lourde.

La distance entre une ouverture et l'angle d'un bâtiment doit être égale à celle qui sépare deux ouvertures; on peut réduire cette distance à moitié pour un bâtiment en arrière-corps.

Combles. — Les proportions les meilleures pour les combles à la Mansard sont les suivantes : Si on inscrit la silhouette du comble dans une demi-circonférence, le brisis est le côté du décagone inscrit; pour obtenir un comble plus élevé, on décrit une demi-circonférence sur sa base et au point le plus haut on mène une tangente dont la longueur est $\frac{4}{3}$ r; l'entrait du faux comble a pour hauteur $\frac{1}{3}$ r (r = rayon).

Cour. — Pour qu'une voiture puisse tourner sans difficulté, une cour doit avoir au moins 7m,80 de côté.

Plan d'un appartement *de ville pour une famille d'une certaine aisance* (*fig.* 488, échelle de 0m,003 pour mètre. — M. Moitié, de Coulommiers, architecte).

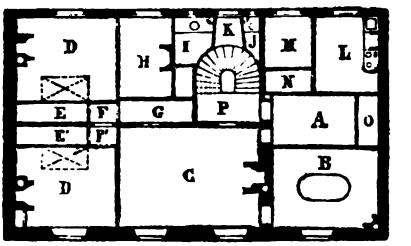


Fig. 488.

P, palier (1m,20 sur 2m,80); — A, antichambre (3m,55 sur 2m,30); — B, salle à manger (3m,50 sur 4m,50); — C, salon (4m,50 sur 6m,15; — D, D, chambres à coucher (4m,35 sur 3m,65); — E, E', gardes-robes (0m,80 sur 3m,65); — F, F', degagements; — G, couloir (1 mètre sur 3m,15); — H, cabinet de travail ou chambre à coucher d'enfant (3m,45 sur 2m,40); — I, lieux à l'anglaise; — J, cabinet d'aisances pour les domestiques; — L, cuisine (2m,75 sur 3m,30); — M, office (1m,80 sur 2m,20); — N, garde-manger (1m,80 sur 1 mètre); — O, passage de 0m,80 pour le service de la salle à manger; — K, tambour à jour dans toute la hauteur, pour aérer l'escalier, en permettant aux croisées de s'ouvrir. A chaque étage, le plancher est profilé, ce qui forme des banquettes destinées à recevoir des corbeilles de fleurs.

Plan d'un appartement de ville pour une famille riche (*fig.* 489, échelle de 0,003 pour mètre. — M. Moitié, architecte).

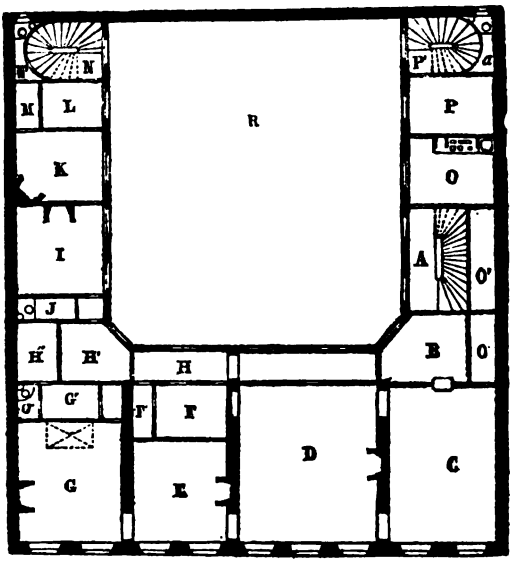


Fig. 489.

A, escalier principal (2m,50 sur 4m,50); — B, antichambre (4 mètres sur 3 mètres); — C, salle à manger (4m,50 sur 6m,90). Un poêle, placé dans la cloison, chauffe la salle à manger et l'antichambre; — D, salon (6 mètres sur 7 mètres); — E, boudoir de madame ou petit salon (4 mètres sur 4m,30); — F, cabinet dans lequel on peut mettre un lit de repos ou prendre des bains (3 mètres sur 2m,50); — F', dégagement; — G, chambre à coucher de madame (4m,50 sur 5m,30); — G', garde-robes; — G'', anglaises; — H, galerie de dégagement; — H', cabinet de toilette; — H'', atrium ou petite cour donnant de la lumière et de l'air aux cabinets d'aisances.

L'aile de gauche forme l'appartement de Monsieur : I, chambre à coucher (3m,60 sur 4 mètres); — J, gardes-robes et aisances; — K, cabinet de travail (3m,60 sur 3 mètres); — L, antichambre (2m,25 sur 2 mètres); — M, cartonnier; — N, escalier de service; — N', latrines pour les domestiques.

Si l'aile de gauche était destinée à des enfants : I serait la chambre à coucher; — K, la salle d'étude; — L, la chambre de la gouvernante; — M, cabinet.

Aile de droite : O, cuisine (3m,60 sur 2m,80); — O', couloir de 1 mètre pour le service de la salle à manger; — P, office (3m,60 sur 2m,50); — P', escalier de service; — *a*, aisances pour les domestiques; — R, grande cour.

Magasin à blé[1]. — Pour conserver le blé, on l'étale en couches sur les planchers des divers étages du magasin. L'épaisseur des couches est de 0m,50 pour le blé d'un an, de 0m,60 pour celui de deux ans, et de 0m,70 pour celui de trois. On laisse entre les couches et le mur un espace libre de 1 mètre de largeur, et dans le sens de la longueur, tous les 15 ou 20 mètres, on interrompt les couches sur une distance de 4 à 5 mètres; cela permet de changer le blé de place pour l'aérage.

Dans les grandes villes on établit des magasins à blé qui ont jusqu'à huit étages, y compris les combles et le rez-de-chaussée, que l'on utilise comme les autres étages. La hauteur de chaque étage est de 3 mètres; cela suffit pour aérer le blé, auquel on fait décrire, en le lançant à la pelle, une courbe dont la hauteur est de 2m,50. La longueur des greniers dépend de leur importance, et leur largeur varie de 12 mètres au minimum, à 20 mètres au maximum.

On calcule les dimensions des murs et des poteaux pour résister au poids du blé emmagasiné, qui est de 75 kilogr. l'hectolitre.

Les planchers doivent pouvoir porter 600 à 700 kilogr. par mètre carré.

Les poteaux soutenant les planchers sont espacés de 4 à 5 mètres, et, afin d'éviter le tassement provenant de la dessiccation du bois, on place les poteaux des divers étages bout à bout, sans les interrompre par des pièces de bois posées à plat. La dessiccation ne change pas la longueur des pièces de bois, tandis que, normalement aux fibres, le sapin diminue de 1/75, et le chêne de 1/83.

CHAPITRE IX

TRAVAUX EN PLATRE OU LÉGERS OUVRAGES

Légers ouvrages. — Le mode de *détermination du prix des légers ouvrages* consiste à considérer, comme base d'estimation, les *languettes de cheminées pigeonnées de* 0m,08 *d'épaisseur, ravalement compris;* les *plafonds ordinaires lattés jointifs* ou *avec augets plats;* les *pans de bois d'une épaisseur ne dépassant pas* 0m,18; les *cloisons légères, de* 0m,11 *d'épaisseur au plus*, lattées, hourdies et ravalées des deux côtés. Tous ces ouvrages étant à peu près de la même valeur, on les évalue à *l'unité de légers ouvrages.*

Quand on dit qu'un ouvrage est *réduit au 1/4 de légers*, cela signifie que sa surface réelle doit être réduite au quart pour avoir la surface équivalente en divers ouvrages pris pour types. Ainsi, un crépi enduit fait sur mur neuf de 20 mètres sur 4 mètres, et

[1] Pour les constructions rurales, voir plus loin.

ayant par conséquent 80 mètres de surface, sera payé comme 20 mètres carrés de légers ouvrages.

Par l'expression *réduit ou compté à 1 et 1/2 de légers*, l'ouvrage doit être compté pour 1 fois 1/2 sa surface réelle, c'est-à-dire qu'un ouvrage de 10 mètres sur 4 mètres ou de 40 mètres de surface doit être compté comme 60 mètres superficiels de légers.

Par l'expression *sur* $0^m,08$ *courant de légers*, ou sur $0^m,08$ *de légers*, on entend un ouvrage mesuré en longueur, et dont l'évaluation ou la réduction en légers a été faite sur le nombre qui indique sa largeur; de là, une *naissance* de 4 mètres de longueur sur $0^m,08$ de légers produits $4 \times 0^m,08 = 0^m,32$ de légers ouvrages.

Lorsqu'il est exprimé qu'un ouvrage quelconque est *compté pour* $0^m,75$ *de légers*, cela signifie que le travail n'est plus susceptible ni de réduction ni d'augmentation en légers, et qu'il doit être compté comme 3/4 de mètre superficiel de légers ouvrages.

Lattis jointifs et espacés. — Les lattis s'appliquent sur les rampants d'escalier, les linteaux en bois, le dessous des poutres de plancher en bois, les poteaux d'écartement et les huisseries des cloisons hourdées.

Pour un plafond, le maçon vérifie si les solives ne présentent pas de grandes flaches. S'il en était ainsi, il ferait rapporter des fourrures en bois sous les solives, pour dresser autant que possible les parties sinueuses. Il pose les lattes, en les plaçant de manière que leurs extrémités se trouvent au milieu des solives, afin qu'il y ait moins de déchet. Pour un *lattis jointif*, il laisse 1 centimètre d'intervalle entre les lattes voisines; pour un *lattis espacé* devant recevoir des augets, l'entr'axe des lattes doit être de $0^m,14$, ce qui donne un vide de $0^m,08$. Pour les pans de bois et les cloisons légères, les lattis sont toujours espacés, et le vide entre les lattes voisines doit être de $0^m,18$ environ; les lattes placées sur chacune des faces du pan de bois ou de la cloison doivent se trouver au milieu des intervalles des lattes placées sur l'autre face.

L'ouvrier doit s'arranger pour que les lattes noueuses ou tortueuses se trouvent dans les endroits où la charge de plâtre sera la plus forte, et il doit tourner la face tortueuse de la latte vers l'intérieur du plancher ou du pan de bois.

Le temps que met un maçon avec un garçon pour exécuter 1 mètre carré de lattis est en moyenne :

$0^h,70$ pour lattis jointifs pour plafonds;
0 ,30 pour lattis espacés de $0^m,18$ pour plafonds;
0 ,17 pour lattis espacés de $0^m,18$ pour cloisons ou pans de bois.

Il faut, pour faire 1 mètre carré de lattis de plafond, espacé de $0^m,08$, pour augets : 8 lattes, 38 grammes de clous d'épingle, et $0^h,30$ d'un maçon avec son aide.

Hourdis de pans de bois, cloisons, etc. — Pour les hourdis en

général, le maçon doit employer le plâtre le plus gros; les mouchettes, mêlées avec un peu de plâtre ordinaire, sont convenables. Le plâtre doit être gâché serré.

Pour les pans de bois, après avoir latté sur les deux faces, on place à sec, dans l'épaisseur du pan de bois, des plâtras, des éclats de briques ou de moellons tendres, etc., maintenus par les lattes; puis on remplit les vides avec le plâtre, en dressant la surface avec la main, de manière à affleurer le lattis; le crépi complète le dressage des parements et les prépare à l'enduit.

Pour les hourdis en renformis, pour niches, avant-corps, bandes de trémies, les plâtras et garnis doivent être à bain de plâtre.

L'intérieur de la cloison se hourde plein avec du plâtre; parfois on y pose quelques plâtras plats ou des morceaux de briques.

Pour faire le hourdis d'une cloison légère, le maçon place des planches contre une face de la cloison, en les étrésillonnant, puis il applique son plâtre par la face opposée. Ces planches retiennent le plâtre liquide, en même temps qu'elles dressent le hourdis sur l'une des faces de la cloison; on les enlève à mesure de la prise du plâtre.

Pour hourder en plâtras et plâtre 1 mètre carré de pan de bois, de $0^m,18$ d'épaisseur, il faut :

Plâtras blancs.....	$0^{mc},08$
Plâtre en poudre pour sceller les plâtras.....	0 ,02
Main-d'œuvre (un maçon avec son garçon).....	0^h ,8

Pour le hourdis de 1 mètre carré de cloison légère de $0^m,08$ à $0^m,11$ d'épaisseur, il faut :

Plâtre en poudre	$0^{mc},04$
Main-d'œuvre (un maçon avec son garçon).....	0^h ,5

Augets plats ou cintrés. — On désigne sous le nom d'augets la couche de plâtre posée entre les solives d'un plancher ou les chevrons d'un comble, sur un lattis espacé, pour former le corps du plafond, et sur lequel on applique l'enduit. Les plafonds avec augets plats (*fig.* 490) ou cintrés (*fig.* 491) présentent plus de solidité que ceux sous lattis jointif.

Le procédé à la *parisienne* est suivi pour les augets de plafonds neufs. Il consiste à appliquer sous le lattis, en regard des intervalles des solives, des planches droites; des maçons placés sur l'échafaud posent des étrésillons sous ces planches. Si un nœud de latte ou un clou mal enfoncé empêchait la complète application des planches, il faudrait couper le premier, ou enfoncer ou abattre le second. Si une planche était gauche, il faudrait la redresser en serrant les étrésillons.

Le plâtre doit être gâché bien serré; le maçon le place entre les solives, avec la truelle, ou en versant l'auge entière, en ayant

soin de dresser l'auget avec le dos de la truelle avant la prise du plâtre et d'en régler l'épaisseur à $0^m,027$.

Pour faire les augets, on emploie le plâtre au panier. Les augets cintrés s'établissent de la même manière que les augets plats; seulement, pour les premiers (*fig.* 491), on implante des clous à bateau dans les côtés des solives, sur la hauteur de l'auget, avant de poser le plâtre. Le maçon donne à l'auget la forme circulaire (*fig.* 491), soit avec sa truelle, soit avec une bouteille.

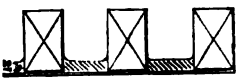


Fig. 490.

Fig. 491.

Quand, dans un bâtiment neuf, on fait les augets des plafonds avant que la couverture soit terminée, il faut, au moyen d'une chevillette, faire dans les augets des trous pour l'écoulement de l'eau.

Le procédé *à l'italienne* n'est employé que pour les plafonds établis sous d'anciens planchers, dont l'aire ou le carrelage existant sur les solives est conservé; il est usité pour les plafonds lambrissés des combles sur lesquels la couverture est posée, et pour les plafonds d'escaliers, lorsqu'on ne veut pas faire de lattis jointif, qui offre, du reste, moins de garanties de solidité.

Pour faire les augets par la méthode italienne, le lattis du plafond ou du lambris étant terminé, on prépare des planches droites d'une longueur et d'une largeur convenables; on apprête également des étrésillons d'une longueur déterminée par la distance de l'échafaud au plafond. Cela fait, les maçons placent sur l'échafaud une ou deux planches préparées, sous l'intervalle des solives entre lesquelles on va établir l'auget; alors ils étalent du plâtre gâché sur les planches, sur une largeur et une épaisseur égales aux mêmes dimensions de l'auget. Chaque planche, recouverte de plâtre liquide, est soulevée par deux ouvriers, qui l'appliquent contre le lattis du plafond, au droit de l'intervalle des solives, pour y faire adhérer le plâtre; d'autres ouvriers placent un étrésillon sous chaque extrémité de la planche; en même temps qu'ils les serrent fortement, ils frappent sur la planche avec la hachette. Un troisième et quelquefois un quatrième étrésillon est placé sous chaque planche. On laisse le tout dans cet état jusqu'à ce que la prise du plâtre soit opérée; alors on retire les étrésillons et on décolle la planche.

Avant la prise du plâtre, c'est-à-dire dans un temps qui est parfois de 4 à 5 minutes, on est obligé d'étaler le plâtre sur la

planche, d'appliquer celle-ci, qui pèse jusqu'à 70 à 80 kilogr., contre le lattis, et de poser et serrer les étrésillons.

Au fur et à mesure que les augets s'exécutent, le maçon doit les piquer légèrement avec la hachette.

1 mètre carré de plafond se compose de $0^{m\text{q}},75$ de surface réelle d'augets, et de $0^{m\text{q}},25$ de surface de solives.

1 mètre carré d'augets plats ordinaires exige :

Plâtre, y compris 1/20 de déchet.....	$0^{mc},025$
Main-d'œuvre, non compris l'échafaud (un maçon et son compagnon).....	0^{h} ,6

Pour les augets à l'italienne, la quantité de plâtre est de 1/10 plus forte que pour les précédents, et la main-d'œuvre de 1/5.

Aire en plâtre. — On nomme ainsi la couche de plâtre posée sur les bardeaux ou le lattis dont on recouvre le haut des intervalles des solives d'un plancher, et sur laquelle on établit le carrelage formant le sol du plancher.

Pour exécuter une aire de plancher, on commence par poser, sur les solives, les bardeaux ou le lattis jointif, en ne clouant pas les lattes de celui-ci sur toutes les solives ; on les pose comme les bardeaux et, sur chacune de leurs extrémités et au milieu de leur longueur, on place en travers une latte fixée sur les solives avec des clous à bateaux : ces lattes transversales relient le lattis aux solives.

La pose des bardeaux ou du lattis étant terminée, on forme l'aire en gros plâtre gâché, dressé à la truelle, en réglant son épaisseur à $0^{m},04$. On ne doit pas approcher entièrement l'aire en plâtre des murs, des solives d'enchevêtrure, des poutres, etc., afin d'éviter le gonflement du plâtre, la poussée au vide des murs et des poutres, ou le soulèvement et la rupture de l'aire lorsqu'on veut la charger.

Les aires recouvertes sont dressées grossièrement avec le tranchant de la truelle; mais, si les aires restent apparentes, comme pour les greniers, dont elles forment le sol, le maçon doit les dresser mieux et enduire leur surface.

L'établissement de 1 mètre carré d'aire ordinaire de $0^{m},04$ d'épaisseur, posée sur bardeaux, exige : 48 bouts de bardeaux : $0^{mc},042$ de plâtre, déchet compris ; $0^{h},17$ d'un maçon avec son garçon pour la pose des bardeaux ; $0^{h},25$ d'un maçon avec son garçon pour l'emploi du plâtre.

Bande de trémie. — Nous avons déjà parlé des trémies en fer établies pour supporter les âtres des cheminées, au-dessus des vides réservés entre les enchevêtrures, le chevêtre et le contre-cœur. Pour terminer la bande de trémie, les fers étant posés, le maçon larde de clous et de rappointis la face intérieure du chevêtre et des solives d'enchevêtrure ; puis, il pose en dessous des

solives, pour fermer le vide, des planches jointives qu'il soutient au moyen d'étrésillons bien serrés, et alors il pose sur cette espèce de plancher provisoire, pour remplir le vide, du plâtre et des plâtras blancs ou des recoupes de moellons tendres, qu'il a soin de hourder à bain de plâtre.

L'exécution de 1 mètre carré de bande de trémie, non compris le plafond exécuté en dessous, exige : $0^{mc},120$ de plâtres blancs ou de recoupes de moellons; $0^{mc},080$ de plâtre en poudre pour hourder; 2 heures d'un maçon avec son garçon, y compris l'établissement de l'échafaud.

Les **repères** sont des petites bandes deplâtre de $0^{m},10$ sur $0^{m},03$, que le maçon établit pour dresser ses enduits, pour mettre à plomb les règles qui doivent lui servir à battre les nus, les feuillures, les cueillis d'angle, etc.

Les **nus** sont des bandes de plâtre de $0^{m},50$ à 10 mètres et plus, sur une largeur égale à celle d'une règle, $0^{m},03$, que les maçons établissent pour dresser les enduits de murs, de plafonds, etc.; ils y ont aussi recours pour ériger les moulures.

Pour faire un nu, le maçon, après avoir coupé à l'alignement les repères R, R' (*fig.* 492), applique la règle B dessus, et il la sou-

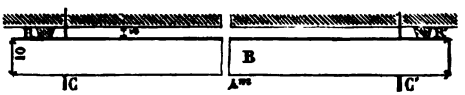


Fig. 492.

tient par deux ou trois chevillettes C, C', suivant sa longueur. Cela suppose le nu horizontal; s'il était vertical, après avoir appliqué la règle sur les repères coupés, le maçon la fixerait à chacune de ses extrémités au moyen d'une chevillette ou d'une poignée de plâtre. La règle étant mise en place, l'ouvrier remplit de plâtre le vide compris entre la règle et le mur. Comme le plâtre, par suite du gonflement, dû à sa prise, écarterait la règle des repères, on la fait rester dans sa position en la frappant avec la hachette. Lorsque le plâtre est durci, on enlève la règle, et le nu est terminé.

Des maçons, au lieu de laisser la règle sur les repères pendant la pose du plâtre, l'enlèvent, et, après avoir placé celui-ci, autant que possible, suivant la direction et l'épaisseur du nu, ils viennent appliquer la règle dessus, en la frappant avec la hachette jusqu'à ce qu'elle repose sur les repères, où ils la maintiennent jusqu'à la prise du plâtre; ils ramassent le plâtre qui déborde la règle haut et bas quand elle repose sur les repères. Ce moyen produit des nus bien durs et bien pleins ; c'est de lui que vient le terme: *battre un nu.*

Parfois les nus se dressent au guillaume. On les fait dans quelques cas, avec un bout de latte entaillé, nommé *cochonnet*, que l'on traîne sur une règle ou sur une pièce de bois; ce moyen est employé pour les nus de plafonds d'escaliers; le limon sert ordinairement à diriger le cochonnet.

Les **cueillies d'angle** (*fig.* 493) sont des nus établis dans les angles rentrants formés par les murs, les cloisons, les plafonds, etc., et qui, par suite, se composent de deux nus proprement dits. Pour les exécuter, on coupe les repères à la demande de l'angle rentrant; puis, avec une règle R carrée et présentant un angle égal à celui de la cueillie d'angle, on bat celle-ci en opérant comme pour un simple nu.

Les **arêtes** sont les angles saillants formés par les maçonneries. On distingue : 1° les arêtes simples, que l'on exécute à la règle aux encoignures des bâtiments, des tuyaux de cheminées, des jouées de lucarnes, des embrasements et tableaux de portes et

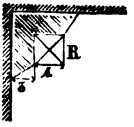


Fig. 493.

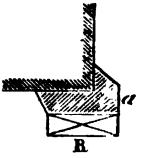


Fig. 494.

croisées, etc.; 2° les arêtes que l'on établit à l'aide d'un calibre, comme les moulures.

Pour exécuter une arête simple, qu'on fasse ou non usage de repères, après avoir placé la règle R de manière qu'une de ses arêtes coïncide avec l'arête à exécuter (*fig.* 494), le maçon la fixe au moyen de chevillettes ou de petits patins en plâtre; il fait gâcher du plâtre serré, et il le pose entre le mur et la règle en le serrant avec la main et la truelle. Quand le plâtre a fait prise, l'ouvrier enlève avec la truelle brettée celui qui dépasse la règle; de cette manière, il dresse une face *a* de l'arête, dont l'autre face se trouve dressée en enlevant la règle.

Parfois les arêtes sont arrondies : si c'est sur un rayon, de $0^m,01$ à $0^m,05$, on leur donne cette forme au moyen du rifflard et du guillaume; lorsque le rayon de l'arrondissement atteint $0^m,05$ à $0^m,12$, il y a économie à faire une petite *cerce* avec un bout de planche et à traîner l'arête arrondie avec ce calibre, que l'on fait glisser entre deux règles.

Les **feuillures** sont des renfoncements dans les pieds-droits des baies pour recevoir les portes, croisées, châssis, volets, persiennes, etc.

Une feuillure se compose d'un angle rentrant et de deux angles saillants; elle s'exécute comme les cueillies d'angle et les arêtes. On place à plomb la règle qui doit la former et on garnit de plâtre les deux côtés de la règle, afin que la feuillure soit bien pleine et qu'il y ait moins d'*octage* à faire (petits trous à boucher). Le plâtre ayant fait prise, on le nettoie à la truelle brettée, en le dressant suivant les côtés de la règle; on enlève alors cette dernière et l'on octe, si c'est nécessaire.

Les feuillures courbes se font au moyen de règles circulaires, ou se traînent en faisant usage d'un calibre comme pour les moulures.

Renformis. — On nomme ainsi la surépaisseur de plâtre nécessitée par les flaches ou les irrégularités qui existent parfois à la surface d'un mur, d'un pan de bois, etc., et qu'on est obligé d'appliquer avant de poser le crépi et l'enduit. L'épaisseur du crépi et de l'enduit en plâtre étant à peu près de $0^m,022$ pour un mur ou un pan de bois, et d'environ $0^m,030$ pour un plafond, l'excès, sur ces épaisseurs, de plâtre à poser pour obtenir des surfaces régulières, est donc ce qu'on appele le *renformis*.

Lorsque l'épaisseur d'un renformis excède $0^m,04$ ou $0^m,05$, par économie, on y ajoute des éclats de tuileaux, de briques, de plâtras, etc., que l'on scelle dans le plâtre.

1 mètre carré de renformis de $0^m,01$ d'épaisseur exige : $0^{mc},01$ de plâtre en poudre, déchet compris; $0^h,1$ d'un maçon avec son garçon,

Le **gobetage** est le plâtre au panier, gâché excessivement clair, que l'on projette avec un balai sur les lattis et les pièces de charpente sur lesquelles on veut appliquer un crépi et un enduit.

Pour faire un gobetage, le maçon fait gâcher très clair du plâtre au panier; il trempe dans l'auge un balai de bouleau, dont il frappe la surface à gobeter. Le plâtre appliqué avec le balai forme une infinité de gouttelettes qui facilitent l'adhérence du plâtre au lattis et aux pièces de charpente. Pour un plafond latté jointif, il serait impossible de faire le crépi si l'on n'avait pas gobeté d'abord, le plâtre se détacherait au fur et à mesure de sa pose. Pour les plafonds avec augets, on gobette seulement les faces inférieures des solives.

1 mètre carré de gobetage sur lattis jointif exige : $0^{mc},007$ de plâtre en poudre ; $0^h,14$ d'un maçon avec son garçon.

Crépis en plâtre. — Sous ce nom on désigne la couche de plâtre au panier qu'on applique sur la maçonnerie de moellons, sur le hourdis d'un pan de bois ou sur les augets d'un plafond pour préparer les surfaces à recevoir l'enduit. Parfois, par économie, les crépis ne se recouvrent pas d'un enduit (murs de clôture, murs-pignons, etc.).

Pour exécuter un crépi en plâtre, si le mur est neuf, le maçon mouille la surface sur laquelle il va appliquer son plâtre; s'il s'agit d'une vieille maçonnerie, il doit hacher le vieux plâtre, puis nettoyer et mouiller la surface.

Le plâtre étant gâché pas trop serré et remué, le maçon le laisse couder dans l'auge, puis le jette à la truelle sur la face à crépir. Dès que le plâtre commence à prendre dans l'auge, il fait usage de la taloche; ayant recouvert cet outil de plâtre, il le promène contre le mur pour y faire adhérer le plâtre.

En passant la taloche sur le plâtre jeté à la truelle, le maçon commence à dresser le crépi, qu'il termine de rendre plan à l'aide de la truelle, et, passant légèrement le tranchant de cet outil sur la surface du crépi, il y forme des petites aspérités qui permettent à l'enduit d'y bien adhérer; le crépi étant de plâtre au panier, le tranchant de la truelle, en en détachant les gros grains, y forme des arrachures auxquelles l'enduit, qui est ordinairement en plâtre au sas, vient gripper fortement.

Les crépis qui restent apparents doivent être d'un fini plus parfait que ceux recouverts d'un enduit; le raclage à la truelle doit être plus léger et uniforme.

Dans les plafonds il faut dresser le crépi de manière que l'épaisseur de l'enduit soit de $0^{m},005$ en dehors des nus.

Pour établir 1 mètre carré de crépi plein de $0^{m},014$ d'épaisseur sur paroi verticale, il faut : $0^{mc},014$ de plâtre en poudre, déchet compris; $0^{h},34$ d'un maçon avec son garçon.

1 mètre carré de crépi de $0^{m},02$ d'épaisseur, sur plafond, exige: $0^{mc},025$ de plâtre, déchet compris; $0^{h},47$ d'un maçon avec son garçon.

Un crépi en plâtre sur brique, moellon ou meulière, vaut $0^{f},75$ à 1 franc le mètre superficiel. Le pli moucheté vaut $1^{f},25$.

Pour faire un crépis sur vieux mur, on fait un *hachement* préalable et l'on mouille afin d'assurer l'adhérence du crépi.

Enduits en plâtre[1]. — Les enduits simples sont ceux qu'on applique seuls immédiatement sur les maçonneries qui n'exigent pas de crépi, comme les murs dossiers, l'intérieur des tuyaux de cheminées, les souches au-dessus des combles, les murs de clôture et autres ouvrages de même nature, qui réclament plus de solidité que de fini d'exécution, et que souvent on enduit avec du plâtre au panier.

On classe parmi les enduits simples ceux exécutés sans crépi à l'intérieur des bâtiments sur d'anciens ouvrages repiqués légèrement et non hachés à vif; on les fait en plâtre au sas.

L'épaisseur est plus considérable pour les enduits simples que pour ceux faits sur crépis; elle est ordinairement de $0^{m},010$ à

[1] Voir ci-avant pour les enduits en ciment.

$0^m,014$ pour les premiers, et de $0^m,007$ à $0^m,010$ au plus pour les derniers.

L'exécution est à peu près la même pour les enduits simples que pour ceux sur crépis.

Dans l'intérêt de la solidité de l'enduit, il doit être exécuté par autant de maçons que sa surface contient de fois 7 à 8 mètres, le travail se trouve ainsi exécuté d'un seul coup et on évite les soudures.

Pour exécuter un enduit en plâtre au sas, le maçon s'assure que le crépi est bien dressé; il passe dessus le côté denté de sa truelle brettée pour faire disparaître les irrégularités de la surface; il gratte près des nus, arêtes et cueillies d'angle qui ont été faits avant le crépi et qui ont servi à le dresser; ce grattage doit être fait de manière que les nus, arêtes et cueillies d'angle, sur lesquels la truelle brettée et le riflard doivent être passés légèrement, soient en désaffleurement du crépi de toute l'épaisseur du plâtre au sas qui doit former l'enduit.

Le plâtre doit être gâché à un degré tel que, quand le plâtre est bien remué, si l'on en prend sur une truelle, il s'y étale sur une couche de $0^m,002$.

Le plâtre étant bien remué, le maçon en jette quelques truellées sur le crépi en attendant qu'il coude; au moyen de sa truelle, il en garnit sa taloche, qu'il tient à la hauteur des bords de l'auge, et il l'applique sur le crépi en promenant la taloche dans tous les sens; il recouvre de nouveau sa taloche de plâtre, en remuant le contenu de l'auge avec sa truelle chaque fois qu'il vient y puiser, pour qu'il ne se forme pas de grumeaux, et il applique ce nouveau plâtre en le posant par bandes horizontales ou verticales. Il passe la taloche à sec sur tout l'enduit pour en lisser et dresser la surface.

Si la taloche a laissé quelques trous ou défauts dans l'enduit, le maçon bouche les premiers et fait disparaître les seconds avec la truelle; il lisse un peu l'enduit avec cet outil, et il laisse durcir le plâtre.

Aussitôt que l'enduit a fait prise, le maçon le dégrossit en passant dessus le côté denté de la truelle brettée; il nettoie les nus, arêtes et cueillies d'angle du plâtre qui a pu se fixer dessus, et, ce nettoyage achevé avant la prise complète du plâtre, le maçon termine de dresser le reste de l'enduit; il bouche les trous avec de la raclure de plâtre. Le maçon achève le nettoyage et le dressage de l'enduit avec le tranchant uni de la truelle brettée. Il doit diriger ses coups dans le même sens, en évitant les ressauts et en faisant disparaître les côtes.

Lorsqu'on raccorde une partie avec une autre d'un enduit qui n'a pu être terminé, le maçon trace avec son riflard une ligne près du bord de la partie d'enduit déjà faite, et il pique suivant ce

trait la partie irrégulière de plâtre qui le dépasse; c'est ce qu'on appelle *préparer la soudure*. En exécutant la nouvelle partie de l'enduit, l'ouvrier doit, à l'aide de sa truelle, serrer le plâtre mou contre la face de la soudure, afin que, par la suite, il ne se forme pas de gerçure à la jonction des deux portions de l'enduit.

Les enduits de voûtes, de plafonds, etc., se font de la même manière que les précédents; les grandes surfaces d'enduit doivent être jetées d'un seul coup.

Pour exécuter 1 mètre carré d'enduit sur crépi, pour parois verticales, il faut : $0^{mc},008$ de plâtre au sas, déchet compris; $0^{h},20$ d'un maçon avec son garçon.

Si l'enduit sur crépi est fait sur plafond, il faut, pour 1 mètre carré, $0^{mc},014$ de plâtre au sas, déchet compris; $0^{h},30$ d'un maçon avec son garçon.

Ravalement. — On désigne sous le nom de *ravalement* tout crépi et enduit appliqué sur murs et pans de bois, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur des bâtiments; on comprend plus particulièrement sous ce nom les travaux faits sur les parements extérieurs des anciens murs et pans de bois. Faire un crépi ou un enduit se désigne par le mot *ravaler*.

La brique comporte deux joints : le *joint creux*, que l'on tire au crochet, et le *joint à l'anglaise*, saillant.

Enduits colorés. — On en fait qui simulent la brique, en employant du plâtre au sas auquel on a mêlé, lors du gâchage, une grande quantité d'*ocre rouge* pour lui donner la *couleur de la brique*. Quand l'enduit est fait, on le nettoie avec le côté denté de la truelle brettée ; puis on trace avec un crochet, en allant jusqu'au crépi, tous les joints de briques qu'on veut figurer; on remplit tous ces joints avec un petit enduit très mince en plâtre blanc, et on achève le dressage de l'enduit avec le côté uni de la truelle brettée ; on enlève ainsi le plâtre blanc qui forme l'enduit mince, en ne laissant que celui qui est dans les joints.

Crépis mouchetés. — On fait en plâtre au sas des tables renfoncées ou des parties encadrées de montants et de bandeaux. Après avoir coupé ces bandeaux sur une largeur de $0^{m},10$ à $0^{m},20$, on forme les tables au moyen d'un *moucheté*, c'est-à-dire d'un plâtre composé en grande partie de mouchettes que l'on jette au balai comme le gobetage. Parfois, ces tables se crépissent simplement ou se font avec du plâtre ordinaire, sur lequel, avant la prise, on passe un balai dont les brins sont coupés près du lien. On donne quelquefois au moucheté ou au crépi des tables une couleur noire ou rouge, en mêlant au plâtre du noir de charbon ou de l'ocre.

Prix des enduits, etc.

Enduits en plâtre sur murs neufs, le mètre superficiel.....	1 fr. 10
— — sur murs vieux, compris hach., le mètre superficiel.....	1 fr. 40
— — sur plafonds et lambris, le m. superficiel.	2 fr. 10
— en ciment romain sur moellon, brique ou meulière, le mètre superficiel..... 1 fr. 60 à	2 fr. 80
— de fosses en ciment romain, compris dégradations et rocaillage sur meulière, le mètre superficiel..	4 fr. 25
— en chaux sur fosse, le mètre superficiel.....	6 fr.
— en ciment de Portland, de 0m,02 d'épaisseur sur maçonnerie neuve, le mètre superficiel.....	4 fr.
— en ciment Portland formant dallage d'écurie, de 0m,008 d'épaisseur, compris pentes, revers, ruisseaux et cannelures, le mètre superficiel.....	9 fr. 25
— au mastic et blanc de céruse, sur parties moulurées, compris calfeutrements, le mètre superficiel.....	1 fr. 25
— en sable mortier coloré, le mètre superficiel.....	6 fr.
Languettes de 0m,08 d'épaisseur, en plâtre, pigeonnées et ravalées des 2 côtés, le mètre superficiel.....	4 fr.
— ravalées d'un seul côté, le mètre superficiel....	3 fr.

Recouvrement de pièces de charpente. — Ce travail se compose d'un lattis espacé et d'un gobetage, d'un crépi et d'un enduit.

Le maçon doit enfoncer des clous à bateaux et des rappointis, principalement sur les arêtes, quand il y a une grande charge de plâtre.

Ces recouvrements se font dans les étages des combles, sur les arêtiers, les jambes de force, les sablières, les pannes et les arbalétriers; on les exécute aussi sur les poutres et poitrails des étages inférieurs.

Parfois, ces recouvrements terminent des colonnes faites de poteaux en bois grossièrement arrondis. Ces poteaux étant recouverts d'un lattis à 0m,08 de vide, puis d'un gobetage, on forme un crépi et un enduit au moyen de calibres ou de cerces.

Les colonnes se font au moyen de poteaux carrés contre les faces desquels on rapporte des fourrures, pour les arrondir, et que l'on recouvre d'un lattis, d'un gobetage, d'un crépi et d'un enduit.

Pigeonnage en plâtre. — Sous ce nom on désigne une cloison de 0m,08 d'épaisseur, faite en plâtre pur et dressée à la main avant la prise. Cette cloison est employée à la construction des *coffres* et *languettes de cheminées*, et à l'établissement des *hottes de cheminées de cuisines*.

Pour un coffre de cheminée, le maçon, après avoir fait dans le mur dossier des arrachements pour y sceller les costières et les languettes de refend du coffre, mouille ces arrachements; puis il place deux lignes suivant l'alignement extérieur de la languette de face du coffre, en les mettant d'aplomb ou en leur donnant

un peu de fruit s'il en existe dans le parement du mur dosseret. Il pose une poignée de plâtre au droit de la languette de face et suivant l'alignement des lignes. Le maçon prend une nouvelle poignée de plâtre, qu'il pose à la suite, et il continue ainsi.

Le pigeonnage commencé, c'est-à-dire le coffre formé sur une hauteur de $0^m,10$, le maçon pose son plâtre par poignées sur la base déjà formée du pigeonnage.

Pour la pose, le dos de la truelle doit être à l'intérieur du coffre, dont l'extérieur est dressé à la main et ensuite crépi avec le champ de la truelle, ce qui le rend plus brut pour recevoir l'enduit.

Au fur et à mesure que le coffre s'élève, le maçon en enduit légèrement l'intérieur, afin que la suie puisse bien s'en détacher.

Parfois, le maçon emploie le moyen suivant pour pigeonner : il place des planches à l'intérieur du coffre, suivant l'alignement des parements intérieurs; ces planches sont maintenues soit au moyen de chevillettes, soit au moyen de petits étrésillons ; il gâche, applique le plâtre contre les planches, en lui donnant l'épaisseur voulue, et il continue en dressant extérieurement les languettes de face et celles costières du coffre. Lorsque les planches sont entièrement garnies de plâtre et que ce dernier est pris, le maçon retire les chevillettes ou les petits étrésillons qui les soutiennent, et il les décolle pour les placer plus haut. Cette manière de pigeonner, qui se nomme *cintrer*, peut être employée pour hottes de cheminées de cuisines, planchers de soubassements, faux coffres, coffres intérieurs; mais pour les coffres extérieurs de cheminées on doit s'en abstenir.

Pour exécuter à la main 1 mètre carré de pigeonnage, il faut : $0^{mc},081$ de plâtre en poudre, déchet compris; 2 heures d'un maçon avec son garçon, compris l'établissement de l'échafaud.

Pour le pigeonnage cintré avec des planches, le temps employé n'est que les 8/10 du précédent.

Tuyaux de cheminées. — Ces tuyaux se construisent en pierre de taille, en plâtre ou en briques [1], et leur section est rectangulaire ou circulaire. Les dimensions dans œuvre des tuyaux rectangulaires sont de $0^m,22$ à $0^m,25$ sur $0^m,50$ à $0^m,60$.

Pour établir un coffre, ce qui ne se fait plus guère, on doit employer des pierres tendres, posées avec du plâtre ou du mortier. Quelquefois on place de distance en distance, et principalement aux angles du coffre, des crampons en fer pour assurer la fixité des pierres. L'épaisseur des costières et des languettes de face construites en pierre varie de $0^m,12$ à $0^m,25$. L'assise qui couronne le coffre est ordinairement en pierre dure.

Les tuyaux de cheminées en plâtre doivent être pigeonnés. Le pigeonnage doit être légèrement enduit à l'intérieur, afin de

[1] Voir plus loin : *Chauffage* et *Fumisterie*.

diminuer l'adhérence de la suie ; il doit en être de même du mur dossier, qu'assez souvent on enduit avant de commencer le pigeonnage ; c'est sur l'enduit de ce mur que l'ouvrier trace la position des languettes costières et de refend, où il doit faire les arrachements.

Les enduits faits à l'intérieur des coffres sont ordinairement en plâtre au panier. Les crépis et enduits de l'extérieur des coffres sont généralement en plâtre au sas dans l'étendue de l'intérieur des logements ; mais les têtes de cheminées et les portions de tuyaux qui se trouvent dans les greniers sont enduites en plâtre au panier, et souvent il arrive qu'au lieu d'enduire en plâtre au sas la partie de coffre qui se trouve hors des combles, on le fait en plâtre au panier.

Couronnement des cheminées. — Le pigeonnage étant arrivé au sommet, l'ouvrier procède à la fermeture du coffre, ou mieux au rétrécissement de son ouverture supérieure, en réduisant à $0^m,14$ ou $0^m,15$ la largeur de $0^m,22$ à $0^m,25$ de cette ouverture. Ce rétrécissement se fait au moyen de deux gorges de raccordement, faites sur les languettes de face si le coffre est dégagé, comme l'indique la figure 495 ; si le coffre est adossé, une de ces gorges se place sur le mur dossier.

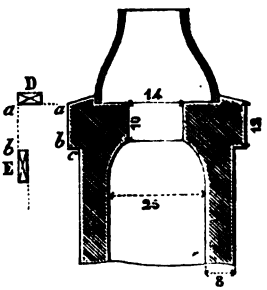


Fig. 495.

L'ouverture de $0^m,14$ à $0^m,15$ de largeur est celle qui paraît la plus favorable au passage de la fumée.

La fermeture terminée, le maçon exécute le couronnement, qui n'est quelquefois qu'une simple moulure ; mais souvent c'est un bandeau de $0^m,12$ à $0^m,15$ de hauteur sur $0^m,03$ à $0^m,05$ de saillie (*fig.* 495).

Pour faire ce bandeau, le maçon place une règle de niveau pour former l'arête supérieure *a*, puis une autre règle E de $0^m,03$ à $0^m,05$ d'épaisseur, suivant la saillie du bandeau, pour former l'arête *b* et l'angle rentrant *c*. Les deux règles étant espacées de la hauteur du bandeau et leurs faces extérieures placées dans le même plan vertical, comme l'indique le détail D, le maçon les fixe dans cette position ; puis il fait gâcher du plâtre serré et il en remplit l'intervalle des règles, pour former le bandeau. Quand le bandeau est fait en plâtre au panier, le maçon le lisse en appuyant sa truelle contre les deux règles ; si on emploie du plâtre au sas, il le dresse grossièrement à la truelle, et, après la prise, il termine à la truelle brettée, en suivant le plan des deux règles. Cela fait, le maçon décolle les deux règles, et il en place

deux autres plus petites pour faire le couronnement des côtés du coffre, quand il est adossé; si le coffre est dégagé, il place ces deux règles sur le côté opposé à celui qu'il vient de faire, et, ce côté achevé, il termine le couronnement par les côtés du coffre, en opérant de la même manière.

Aussitôt que le couronnement est achevé, le maçon scelle la mitre, qu'on lui fournit quand elle est en poterie, et qu'il est obligé de faire quand elle est en plâtre. La figure 495 représente une mitre *à la Fougerolie*. Une mitre en plâtre se compose de 4 languettes en plâtre, de $0^m,04$ d'épaisseur, que l'on coule à part.

La mitre posée et scellée, le maçon fait les solins qui doivent la fixer; il les raccorde avec les arêtes extérieures du couronnement, en leur donnant une pente de $0^m,02$ à $0^m,03$ sur leur largeur, qui est à peu près de $0^m,12$ à $0^m,15$.

Enfin la fermeture, le couronnement, la pose de la mitre et les solins étant achevés, l'ouvrier exécute l'enduit extérieur. Pour cela, après avoir établi les arêtes et les cueillies d'angle du coffre, il procède comme il a été dit au paragraphe *Enduits en plâtre*.

Tuyaux de cheminées établis dans l'épaisseur des murs [1]. — Parfois, pour économiser la place, on construit les tuyaux de cheminées dans l'épaisseur des murs. Quand ils sont rectangulaires, le fond est formé par une cloison en briques, et les deux languettes costières se trouvent naturellement formées par le mur, que l'on recouvre simplement d'un enduit. Il ne reste plus à faire que la languette de face, qui doit affleurer l'alignement du mur, et celles de refend. Ces languettes se construisent parfois en pigeonnage, mais le plus souvent en briques.

La multiplicité des appartements réclamant souvent un grand nombre de cheminées, pour que les tuyaux occupent moins de place, on les fait quelquefois en tuyaux de grès ou de fonte de fer, ronds ou ovales, et de $0^m,21$, $0^m,24$ ou $0^m,27$ de diamètre, que l'on place dans l'intérieur des murs; le plus souvent, on érige ces tuyaux au moyen d'un mandrin cylindrique de 1 mètre de long; le maçon place le mandrin dans l'épaisseur du mur, suivant la direction que le tuyau de cheminée doit avoir, et, l'ayant entouré d'une couche de plâtre, il applique contre cette couche les moellons destinés à la formation du mur. Ce cylindre se séparant par parties, cela permet à l'ouvrier de le remonter successivement au-dessus de la portion du tuyau déjà faite, au fur et à mesure de la construction du mur; il recommence ainsi jusqu'à la fermeture du tuyau.

Pour suppléer au mandrin, on emploie une feuille de zinc que l'on ploie en suivant le diamètre voulu. A la partie inférieure, on

[1] Pour les boisseaux, wagons, etc., en terre cuite, voir plus loin à la *Fumisterie*.

maintient cette feuille de zinc dans la portion de tuyau commencée au moyen d'un bout de latte en forme d'étrésillon ; la partie supérieure de la feuille de zinc est simplement arrêtée avec une ficelle. Quand ce tuyau est garni de plâtre et de moellons dans toute sa hauteur, l'ouvrier fait tomber le bout de la latte de la partie inférieure, et, comprimant le tuyau pour en diminuer le diamètre, cela permet de le retirer assez facilement; il le replace de même au-dessus de la partie de cheminée achevée, et il continue ainsi de suite jusqu'à ce que la cheminée soit montée jusqu'au sommet.

Les moyens d'exécution de la maçonnerie de briques ont été largement étudiés. Pour assurer la solidité du coffre, on doit tracer sur le mur dosseret les directions des languettes costières et de refend, et faire de distance en distance sur ces directions, dans le mur dosseret, des trous ou arrachements pour y sceller la moitié d'une des lattes du coffre.

Les parois intérieures des coffres en briques doivent être enduites en plâtre ou en mortier, au fur et à mesure que la maçonnerie s'élève ; l'enduit empêche la suie d'adhérer trop fortement aux parois.

L'épaisseur des coffres de cheminées en briques est ordinairement de la largeur des briques ($0^m,11$) pour les languettes de face, et de l'épaisseur ($0^m,55$) des briques, qui sont posées de champ, pour les languettes de refend.

Cheminées d'usines. — Les grandes *cheminées d'usines* se construisent en briques. On leur donne pour section un carré ou un cercle ; dans ce dernier cas, on les fait carrées jusqu'à une hauteur de $3^m,50$ à $4^m,50$ au-dessus du sol ; on forme ainsi une espèce de piédestal que l'on couronne par quelques briques en saillie sur les parements, pour faire office de corniche. Cette partie carrée descend ordinairement à 2 mètres ou $2^m,50$ en contre-bas du sol, pour former la chambre de prise de la fumée venant des fourneaux, et elle est établie sur un massif de béton de 1 à 2 mètres d'épaisseur, suivant la hauteur de la cheminée, à laquelle il sert de fondation. On donne à ce massif de $0^m,25$ à $0^m,50$ d'empatement sur les parements extérieurs des murs formant la base de la cheminée.

Les proportions d'une cheminée circulaire d'usine de 30 à 35 mètres de hauteur à partir du sol, et de $0^m,55$ de diamètre au sommet, sont à peu près les suivantes :

Côté extérieur du socle, depuis le massif en béton jusqu'à $0^m,20$ au-dessus du sol	$2^m,99$
Épaisseur des murs (trois briques sur leur longueur de $0^m,22$ et une sur la largeur de $0^m,11$)	0 ,79
Côté intérieur de la cheminée, depuis le socle jusqu'à la partie circulaire, c'est-à-dire sur une étendue de $2^m,90$ environ	2 ,79

Épaisseur des murs dans cette partie (trois briques sur leur longueur de 0m,22 ..... 0m,69
Saillie du socle sur tout le contour de cette partie ..... 0 ,10
Dimension intérieure de la cheminée, depuis le massif de béton jusqu'à la partie circulaire ..... 1 ,41
Le pied de la partie circulaire étant tangent au socle, son diamètre extérieur est de ..... 2 ,79
Épaisseur des murs de la partie circulaire, depuis son pied jusqu'à la première retraite intérieure, c'est-à-dire sur une étendue de 7 à 8 mètres (deux briques sur leur longueur de 0m,22 et une sur la largeur de 0m,11) ..... 0 ,57
Épaisseur des murs, depuis la première jusqu'à la seconde retraite intérieure, c'est-à-dire sur une hauteur de 6 à 7 mètres (deux briques sur leur longueur de 0m,22) ..... 0 ,45
Épaisseur des murs, de la deuxième à la troisième retraite, c'est-à-dire encore sur une hauteur de 6 à 7 mètres (une brique sur la longueur et une autre sur la largeur) ..... 0 ,34
Épaisseur des murs, depuis la troisième retraite jusqu'au sommet de la cheminée, sur une hauteur de 6 mètres à 6m,50 (une brique sur sa longueur) ..... 0 ,22
Diamètre extérieur au sommet de la cheminée, 0m,55 + 0m,44 .... 0 ,99
Fruit total extérieur de la partie circulaire $\frac{2,79 - 0,99}{2} = \frac{1.80}{2} =$ 0 ,90
Fruit extérieur par mètre $\frac{0,90}{30} =$ ..... 0 ,03

Afin de n'être pas obligé de tailler les briques, on donne la même épaisseur à la cheminée dans toute l'étendue de chacune des portions séparées par les retraites, et c'est afin de regagner ce que le fruit extérieur a fait perdre à la section intérieure de la cheminée que, de distance en distance, on met les parois intérieures en retraite de la largeur d'une brique, c'est-à-dire qu'on diminue de cette largeur l'épaisseur de la cheminée.

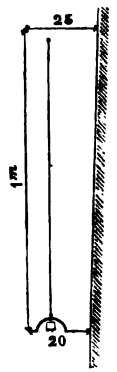


Fig. 496.

Pour les cheminées de petite hauteur, l'épaisseur au sommet est très souvent réduite à la largeur d'une brique, à 0m,11.

Afin de rendre le fruit régulier sur toute la hauteur de la cheminée, le maçon applique contre le parement extérieur de celle-ci, au fur et à mesure qu'elle s'élève, une planche de 1 mètre de long, taillée d'un côté, de manière que sa largeur soit de 0m,03 moindre à une extrémité qu'à l'autre, et contre l'une des faces de laquelle on a fixé un fil à plomb qui vient battre dans une encoche faite au bas de la planche, quand l'arête non taillée de celle-ci est placée verticalement (*fig.* 496). Pour bien élever ses parements, l'ouvrier n'a qu'à appliquer dessus le côté incliné de cette espèce de niveau, et de vérifier si le fil à plomb bat dans l'encoche.

Ces cheminées se construisent sans échafaudage extérieur. L'ouvrier se tient à l'intérieur, et, au fur et à mesure qu'il s'élève, il place des traverses en bois dans des trous qu'il a réservés dans la maçonnerie, et sur ces traverses il dispose des planches sur lesquelles il se met pour travailler. A l'une des traverses est fixée une poulie sur laquelle passe une corde manœuvrée par un treuil fixé au bas de la cheminée. A l'extrémité libre de la corde est fixé un plateau sur lequel des garçons placent les briques et le mortier pour les élever au compagnon qui construit la cheminée.

Tous les $0^m,25$ à $0^m,30$ de hauteur, le maçon scelle un crampon en fer dans la maçonnerie, à l'intérieur de la cheminée. Ces crampons forment une espèce d'échelle qui sert d'abord au maçon pour monter et descendre pendant l'exécution de la cheminée, puis, par la suite, pour faire les réparations et les nettoyages.

Le temps d'exécution de 1 mètre cube de maçonnerie pour ces sortes de cheminées, de la base au sommet, est : 17 heures de briqueteur; et 20 heures de manœuvre servant.

Les prix, à Paris, du mètre cube de maçonnerie de brique, sont:

Pour les fourneaux de machines à vapeur, avec ou sans cheminée, y compris les briques réfractaires du foyer, en briques de Bourgogne	80 fr.
Pour les fourneaux de machines à vapeur, avec ou sans cheminée, y compris les briques réfractaires du foyer, en briques de pays	60 fr.
Pour la main-d'œuvre seulement, sans rien fournir	15 fr.

Ravalement des tableaux et embrasements des portes et croisées. — Ce travail comprend la réunion d'arêtes, de feuillures et d'enduits.

Le ravalement en plâtre d'un bâtiment consiste à faire une arête ou un nu, du socle au-dessous de la corniche, à chaque extrémité du bâtiment; des repères sont couplés et plombés à la longueur des règles, et les arêtes et nus exécutés comme il a été indiqué précédemment. Ce travail achevé, on établit des repères et des nus pour l'exécution de la corniche, laquelle étant traînée, on exécute des chambranles et attiques de croisées, quand il y en a sur le ravalement; dans les cas contraires, on procède à l'établissement des tableaux de croisées.

Le maçon, en tendant un cordeau allant de l'arête ou du nu d'une des extrémités du bâtiment à celui de l'autre extrémité, commence par couper, suivant l'alignement de la façade, les repères R, R' établis vers le haut et vers le bas des montants de la croisée (*fig.* 497), alors il détermine l'axe A de la croisée, qui lui est presque toujours donnée sur une latte, et sur les repères

inférieurs R il indique la largeur de la croisée, qui lui est presque toujours donnée sur une latte par le maître compagnon. Il coupe ensuite les repères inférieurs suivant le plan du tableau et celui des feuillures *i*, *j* des embrasements ; il retourne les tableaux d'équerre dans le sens de leur largeur, avec son niveau placé sur une règle appliquée horizontalement sur la face extérieure des repères R.

Les repères inférieurs ainsi achevés, le maçon relève leur aplomb avec une règle pour couper de la même manière les repères supérieurs R'. Il place verticalement, suivant les deux repères R, R', pour former l'arête, une règle plate, qu'il fixe au moyen d'une poignée de plâtre. Si, au lieu d'une arête, c'est une feuillure *f* qu'il s'agit de faire, pour recevoir des volets ou des persiennes, le maçon coupe ses repères suivant la forme de cette feuillure, et dans les angles rentrants qu'il taille, il place une règle carrée de la dimension de la feuillure, en la fixant comme la règle plate ; cette règle extérieure posée, il place dans les repères coupés, suivant la feuillure de l'embrasement, une autre règle carrée de même dimension que la feuillure, et, l'ayant mise d'aplomb et bien dégauchie avec celle formant l'arête ou la feuillure extérieure, il la fixe avec une chevillette ou une poignée de plâtre. Le maçon garnit de plâtre le derrière et l'intervalle des règles ; il enduit le tableau, en appuyant sa truelle sur les deux règles, et il termine en passant la truelle brettée, quand le plâtre est employé et a fait prise. Ce côté terminé, le maçon enlève les règles pour les replacer de l'autre côté de la croisée, dont il fait le tableau en opérant comme pour le premier côté.

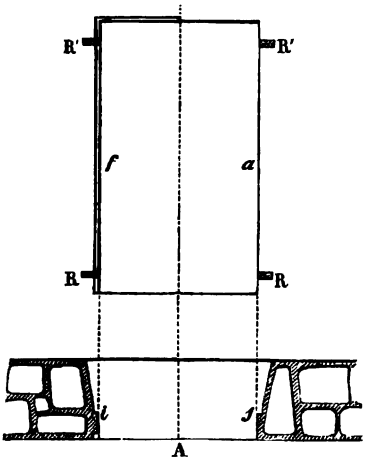


Fig. 497.

Certains maçons ne font pas de repères pour exécuter les tableaux de croisées ; ils tendent la ligne qui doit déterminer l'alignement de la façade ; ils placent la règle extérieure en contact avec cette ligne et suivant l'arête ou la feuillure du tableau, en la plombant, puis ils placent la règle de la feuillure d'embrasement, en la retournant d'équerre et en la dégauchissant avec la première, de manière à la mettre d'aplomb dans tous les sens.

Les deux règles étant ainsi posées et fixées, ils font gâcher du plâtre et ils en forment le tableau.

Lorsque les deux tableaux montants sont terminés, le maçon exécute le tableau de la traverse couronnant la croisée. Il dispose de niveau deux autres règles, l'une pour former l'arête ou la feuillure extérieure, et l'autre pour former la feuillure d'embrasement, puis il termine comme pour les tableaux montants.

Les embrasements se font presque toujours après coup, en même temps que les plafonds. Le maçon coupe d'abord les repères suivant les profils des engagements montants, en leur donnant l'évasement prescrit; il place une règle plate suivant les deux repères, bien verticalement, pour former l'arête intérieure de l'embrasement, puis il fait gâcher du plâtre et il enduit l'embrasement en se guidant sur la règle qui en détermine l'arête sur la feuillure de cet embrasement. Le maçon passe l'enduit à la truelle brettée, en le dressant au moyen d'un bout de règle et du guillaume.

Pour exécuter les tableaux et les embrasements d'une croisée de $1^m,80$ de haut et de $1^m,05$ de large entre ses tableaux (ce qui produit une longueur développée de $4^m,65$), les tableaux ayant $0^m,16$ de large, la feuillure de la croisée $0^m,04$ de côté, et l'embrasement $0^m,28$ de largeur (ce qui fait une largeur totale développée de $0^m,52$), il faut :

Pour les tableaux....	$0^{mc},035$ de plâtre en poudre ; $2^h,82$ d'un maçon avec son garçon.
Embrasements.....	$0^{mc},04$ de plâtre en poudre ; $1^h,58$ d'un maçon avec son garçon.

Dans le lattis des linteaux il entre 3 lattes et 22 clous.

Planchers [1]. — On distingue surtout :

1° Les planchers composés d'une aire en plâtre A faite sur bardeaux ou sur lattis jointif établis sur les solives, avec entrevous E enduits par dessous (*fig.* 498), sont les plus simples; on les construit ordinairement pour des galetas, des greniers, des écuries et des bâtiments ruraux.

Souvent, l'aire en plâtre est recouverte d'un carrelage posé sur une forme en poussier, de $0^m,03$ à 0,08 d'épaisseur, suivant la plus ou moins grande régularité de l'aire en plâtre.

Berthier, ingénieur à la Ferté-Saint-Aubin, a fait usage, pour constructions agricoles, de planchers en briques bâtardes de $0^m,225$ de long, $0^m,11$ de large et $0^m,04$ d'épaisseur, reposant à plat directement sur les solives. Les briques sont posées au plâtre et enduites en dessous, en forme d'entrevous, entre les solives, qui restent apparentes. Quoique les briques n'aient que $0^m,225$ de longueur, le vide entre les solives peut atteindre $0^m,25$. Un plan-

[1] Voir, plus loin, *Planchers*, au chapitre x.

cher établi dans ces conditions a résisté le lendemain au roulement de brouettes chargées de grain.

Prix du mètre carré de ces planchers

40 briques à 25 fr. le mille	1 fr.
Façon et pose, compris fourniture de plâtre et enduit formant plafond entre les solives	1 fr.
TOTAL	2 fr.

2° Les planchers hourdés pleins, à l'affleurement des solives, sont lattés espacés et plafonnés en dessous (*fig.* 499). Le dessus est, comme ceux de la figure 498, formé d'une aire générale en plâtre, sur laquelle on pose le parquet, ou une forme en pous-

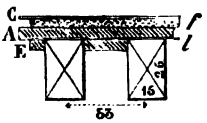


Fig. 498.

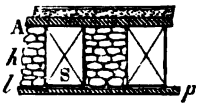


Fig. 499.

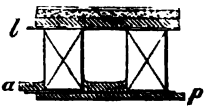


Fig. 500.

sier pour recevoir un carrelage. Ces planchers, très lourds, ne sont guère employés que pour les paliers d'escaliers.

3° Les planchers creux d'appartements (*fig.* 500) sont composés, en dessus, d'une aire en plâtre, établie sur bardeaux ou sur lattis jointif, sur laquelle est placé le parquet ou la forme de poussier destinée à recevoir le carrelage ; en dessous, il y a un plafond fait sur un lattis jointif (plancher creux pour le cas où l'on ne craint pas le bruit) ou sur des augets plats ou cintrés. Ces planchers sont les plus solides.

Dans les figures précédentes :

C est le carrelage de 0m,01 d'épaisseur ou le parquet ; — *f*, la forme en poussier de 0m,03 d'épaisseur ; — A, l'aire en plâtre de 0m,04 d'épaisseur ; — E, les entrevous ; — *h*, le hourdis plein en plâtras ; — *l*, le lattis ; — *a*, les augets ; — *p*, l'enduit et le crépi du plafond, de 0m,03 d'épaisseur au plus ; — S, les solives.

Quand on remplace, dans les planchers, les solives en bois par des solives en fer double **T**, on espace ces solives en fer de 0m,80 à 1 mètre ; elles sont engagées de 0m,20 à 0m,25 dans les murs et y sont retenues par des harpons et ancres ; leur hauteur est ordinairement comprise entre le 1/30 et le 1/35 de leur longueur, et on leur donne environ 1/200 de flèche avant leur pose. Ces solives, reliées entre elles par des entretoises en fer carré, s'agrafent dans les murs et sur les solives ; quelquefois, les entretoises sont en fer rond et boulonnées ; elles sont perpendiculaires aux solives et espacées de 0m,80 à 0m,90. Sur les entretoises, parallèlement aux solives, on accroche des *fantons*, petites tringles en fer carré

de $0^m,010$ à $0^m,011$ de côté, qui se recourbent à angle droit pour descendre au niveau de la face inférieure des solives. Les fantons sont espacés de $0^m,25$, et c'est sur le treillage qu'ils forment qu'on exécute le hourdis en plâtras secs ou en éclats de moellons tendres. Sur ce hourdis on établit une aire en plâtre comme à l'ordinaire, et en dessous on fait le plafond. Souvent, afin d'obtenir des planchers secs, légers, résistants et transmettant peu le bruit, on fait le hourdis en briques creuses ou en poterie de terre cuite ou de plâtre.

Le mode d'exécution suivi pour les planchers hourdés pleins consiste, comme pour les bandes de trémies, à placer sous les solives des planches que l'on soutient par des étrésillons et que l'on fixe successivement sous les espaces à hourder.

Plafonds. — Les plafonds sont ordinairement établis sur hourdis pleins, sur lattis jointifs ou sur augets plats ou cintrés.

On commence par échafauder. Dans les bâtiments neufs, l'échafaud se fait presque toujours deux fois pour les plafonds avec augets : une première fois pour latter en dessous des solives et faire les augets; on enlève ensuite l'échafaud, et quand les gros travaux du bâtiment sont achevés et que ceux de plâtrerie extérieurs et intérieurs s'exécutent, les ouvriers rétablissent de nouveau l'échafaud pour *jeter* le plafond, c'est-à-dire pour en faire le crépi et l'enduit.

Dans les anciennes constructions, les augets et le jetage du plafond se font presque toujours sans interruption, et par conséquent avec le même échafaud.

L'échafaudage étant établi comme il a été indiqué page 367, les maçons font les repères R (*fig.* 501), qu'ils coupent de niveau avec le plafond, en tenant compte de la charge de crépi et d'enduit, et suivant l'obliquité des murs, en réservant aussi la charge de plâtre du ravalement de ces derniers ; puis ils procèdent au battage des cueillies d'angle horizontales, dont l'un des côtés forme le nu du plafond, et l'autre celui du mur : le repère R représente la coupe d'une de ces cueillies d'angle.

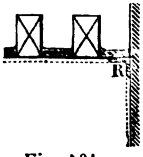


Fig. 501.

Les cueillies d'angle étant établies tout autour du plafond, les maçons font le crépi bien dressé de $0^m,005$ au moins plus faible que les nus, afin d'avoir une charge convenable de plâtre au sas. Après le crépissage, si la surface du plafond ne contient pas plus de fois 8 mètres qu'il y a de maçons sur l'échafaud, ces ouvriers font monter sur l'échafaud le plâtre et l'eau nécessaires au jetage du plafond; si le nombre des maçons est moindre que le nombre de fois 8 mètres, d'autres ouvriers complètent ce nombre afin que le plafond soit jeté d'une seule fois.

Quand il y a impossibilité, on réserve une partie du plafond, que l'on jette aussitôt que le plâtre de la première partie est employé.

Quand le plafond est nettoyé, on procède à l'exécution du crépi et de l'enduit des murs verticaux jusqu'au niveau de l'échafaud, en commençant par battre les cueillies d'angle verticales; on enlève l'échafaud et on achève le crépi et l'enduit jusqu'au sol de la pièce.

Pour les plafonds sur lattis jointifs, quand le gobetage est fait, on exécute le crépi et l'enduit comme pour les plafonds à augets. Il en est de même pour les plafonds sur hourdis plein.

Matériaux et temps nécessaires à l'exécution d'un mètre carré de plafond.

DÉSIGNATION DES PLAFONDS	LATTES	CLOUS	PLATRE	TEMPS d'un maçon avec son garçon
		gr.	m. cub.	h.
Sur augets plats de 0m,27 d'épaisseur	8	38	0,065	2,2
Sur lattis jointif	20	100	0,050	1,9
Sur hourdis plein et lattis espacé	8	38	0,100[1]	2,0

[1] Ce volume comprend le plâtre du hourdis, dans lequel il entre 0mc,080 de plâtras blanc par mètre carré de plafond.

Pour les bandes de trémies, le sous-détail est le précédent donné pour les plafonds hourdés pleins, à l'exception des lattes supprimées.

Entrevous. — Comme nous l'avons dit, les plafonds sont remplacés parfois par des entrevous, c'est-à-dire par un enduit qu'on fait entre les solives, sous le lattis ou les bardeaux qui supportent l'aire. L'établissement des entrevous se fait à l'aide d'échafauds partiels; c'est un travail ordinaire composé d'un gobetage et d'un enduit; la seule difficulté provient de ce que le peu d'espacement des solives gêne pour faire l'enduit.

Scellement des lambourdes. — Les lambourdes, sur lesquelles on établit les parquets, se posent sur les aires en plâtre des planchers; on les scelle de chaque côté au moyen d'un solin en plâtre arrondi en gorge, comme les augets cintrés. Parfois on fait un petit solin droit de chaque côté des lambourdes, et l'on établit, tous les 0m,65 ou 0m,70, des petites chaînes de solins en plâtras ou en garnis pour maintenir l'écartement des lambourdes.

Pour que les parquets de rez-de-chaussée se trouvent aérés en dessous, souvent on pose les lambourdes sur des petits murs de

$0^m,50$ à 1 mètre de hauteur, et espacés de $0^m,60$ environ. Des ventouses sont en outre établies pour produire un aérage complet entre ces murs, sur lesquels les lambourdes sont ensuite scellées au moyen de chaînes cintrées, faites comme il a été dit ci-dessus, et dont l'intervalle est de $0^m,65$ à $0^m,70$.

Pans de bois[1]. — Les pans de bois sont presque toujours érigés sur des *parpaings* en bonne pierre de taille, reposant sur une fondation en bonne maçonnerie de moellons hourdée en mortier de chaux.

On distingue les pans de bois ravalés ou enduits à fleur des pièces de charpente, qui restent alors apparentes, et ceux dont la charpente est lattée et recouverte entièrement de plâtre des deux côtés.

Pour exécuter un pan de bois, lorsque la charpente est entièrement posée, on fait le lattis espacé de chaque face; on remplit ensuite l'épaisseur du pan de bois avec des plâtras blancs ou des recoupes de pierres, ou encore des déchets de moellons, puis on hourde en gros plâtre ce remplissage sur les deux faces, comme il a été dit plus haut, en ayant soin que le plâtre du hourdis affleure le lattis. Les plâtras noirs, tachant les enduits, doivent être prohibés.

Le maçon termine le pan de bois en le ravalant des deux côtés et enfonçant des clous à bateau ou des rappointis au droit des arêtes des tableaux et embrasements de portes et croisées.

Pour 1 mètre carré de pan de bois de $0^m,18$ d'épaisseur hourdé en plâtras et plâtre, et latté, crépi et enduit des deux côtés, il faut :

9 lattes clouées à $0^m,18$ de vide entre elles;
5 décagrammes de clous d'épingle de $0^m,027$;
$0^{mc},080$ de plâtras blancs;
$0^{mc},020$ de plâtre pour hourder les plâtras;
$0^{mc},040$ de plâtre pour les deux crépis et enduits, de chacun $0^m,02$ d'épaisseur;
$2^h,10$ d'un maçon avec son garçon, y compris le temps nécessaire pour installer les échafauds partiels.

Pour les pans de bois à pièces de charpente apparentes, il n'y a que le remplissage, le hourdis et l'enduit des deux faces à compter.

Les pans de bois sur plans circulaires, cimblotés ou non, exigeant un surcroît de main-d'œuvre, et parfois de plâtre, leur valeur se trouve naturellement augmentée.

Cloisons. — Les *cloisons légères* se composent de poteaux d'huisserie, de linteaux, de poteaux de remplissage, d'entretoises, de coulisses et de planches en bois de bateaux grossièrement refen-

[1] Voir, plus loin, au chapitre x.

dues, posées à claire-voie, clouées sur les entretoises, et retenues dans les coulisses ou scellées dans les planchers.

Pour exécuter ces cloisons, le maçon scelle d'abord dans le plafond et sur le plancher les poteaux d'huisserie, les entretoises et le remplissage, au fur et à mesure que le menuisier les pose; puis il procède à l'exécution des lattis, du hourdis, du crépi et de l'enduit.

Il faut placer, avant de faire le hourdis, des étrésillons entre les poteaux d'huisserie qui forment les baies des portes, sans quoi le plâtre, en se gonflant, courberait ces poteaux, et l'on ne pourrait plus placer les portes.

Par mètre carré de cloison légère, lattée, hourdée et ravalée des deux côtés, il faut:

9 lattes;
5 décagrammes de clous d'épingle;
$0^{mc},067$ de plâtre;
2 heures d'un maçon avec son garçon.

Dans ce sous-détail ne sont pas compris le plâtre et le temps nécessaires aux scellements des poteaux, entretoises, etc.

Pour les *cloisons en planches jointives recouvertes de plâtre*, lorsque la menuiserie est posée et que le maçon a scellé les planches dans le plafond et dans le plancher, il fait un lattis et il applique un gobetage sur chaque face de la cloison, puis il fait le crépi et l'enduit.

Quant aux *cloisons ou carreaux de plâtre*, à l'aide de moules en bois, on fait les carreaux à l'avance en employant du gros plâtre, auquel on mélange quelques plâtras quand l'épaisseur le permet. Les carreaux ont de $0^m,35$ à $0^m,45$ de long, sur $0^m,25$ à $0^m,30$ de large, et on leur donne pour épaisseur celle des poteaux de cloisons, c'est-à-dire de $0^m,05$ à $0^m,16$. Une rainure demi-circulaire règne sur tout le pourtour de leur épaisseur (*fig.* 502). Les carreaux sont pleins ou creux. En remplissant ces rainures de plâtre, lors de la pose, on obtient des cloisons formées comme d'une seule pièce. A la pose, le maçon doit mettre les faces de tous les carreaux dans un même plan; comme il arrive souvent que cela est impossible, à cause de l'irrégularité des faces des carreaux; après la pose, le maçon recoupe les balèvres en faisant les joints, de manière à rendre le plus droits possible les deux côtés de la cloison.

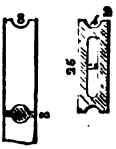


Fig. 502.

Les carreaux en plâtre sont presque toujours posés immédiatement sur l'aire du plancher ou sur le carrelage, et ils rejoignent ordinairement le plafond sans aucun arrachement.

Afin d'alléger les cloisons et les assourdir, on les fait en carreaux creux, en plâtre, qui se font dans des moules en bois, comme les carreaux pleins; un vide est réservé dans leur milieu

au moulage. On les pose de la même manière que les carreaux pleins.

Les carreaux de plâtre, se faisant à l'avance, peuvent être secs lors de leur pose, et préserver les appartements de l'humidité qui résulte des plâtres frais.

Quand une cloison de plâtre a plus de 2 mètres de long, il est bon de la consolider par un poteau d'écartement; entre les poteaux d'écartement ou entre ceux-ci et les huisseries, il faut tendre des fils de fer noyés dans la cloison pour empêcher les gauchissements quand le plâtre fait prise.

Les *cloisons en briques* s'établissent en suivant les règles indiquées pour l'exécution des maçonneries de briques en général. On les fait en briques de champ ($0^m,055$ d'épaisseur) ou à plat ($0^m,11$), l'une ou l'autre jointoyées ou ravalées en plâtre.

Jouées de lucarnes. — On nomme ainsi les cloisons triangulaires comprises entre la couverture, les poteaux verticaux de face et les sablières des lucarnes. Ces jouées se font généralement, comme les cloisons légères, à claire-voie; elles sont lattées, hourdées et ravalées des deux côtés; extérieurement, le ravalement se fait souvent en plâtre au panier, qui résiste mieux aux intempéries que le plâtre au sas.

Prix des solins

Solins en asphalte, le mètre linéaire	0 fr. 70
— en ciment romain, le mètre linéaire	0 fr. 50
— en plâtre sur zinc, le mètre linéaire	0 fr. 72
— en tuile neuve, le mètre linéaire	0 fr. 66

Prix des trous et scellements[1]

Trous percés, tamponnés dans la pierre dure ou briques, la pièce	0 fr. 10
— et scellements pour anneaux d'écurie, abouts de balcon, de manteaux, de barreaux de croisées ou grilles, de brides ou colliers-gâches, décrottoirs, chaque about, la pièce	0 fr. 32
— pour barres d'appui, languettes, ceintures, entretoises, fentons, goujons, linçoirs, mentonnets, pattes, etc., la pièce	0 fr. 20
— pour marches en passe de bois, plate-forme, soliveaux, la pièce	0 fr. 40
— pour chevêtres en fer, gâche forte, gonds de persienne, manteaux de cheminées, marbre en mur, la pièce	0 fr. 48
— pour gonds ordinaires, harpons, liens en bois, lambourdes, linteaux, râteliers, sablières, tirefond, la pièce	0 fr. 60

[1] D'après l'*Annuaire du Bâtiment*, de SAGEBET.

Trous pour chevêtres en bois, limon, pannes, poteaux de barrières, la pièce..... 0 fr. 80
— pour faîtage, enchevêtrures, fonds de porte cochère ou charretière, about de mangeoire, marche palière en mur, la pièce..... 1 fr. »

Moulures en plâtre (*fig.* 503)

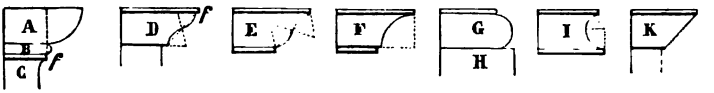


Fig. 503.

A, quart de rond droit. — B, baguette. — C, congé droit. — D, talon droit. — E, doucine ou cymaise. — F, cavet. — G, tore. — H, plinthe. — I, scotie. — K, capucine, etc.

Noms des moulures. — Les moulures sont séparées par des parties droites *f*, *f*, d'une faible hauteur, appelées *filets*, *listels* ou *larmiers*, selon la place qu'elles occupent dans les profils.

Chaque moulure composant un profil prend le nom de *membre*. Lorsqu'une de ces moulures est accompagnée d'un filet, en dessus et en dessous, elle prend le nom de *membre couronné*.

La moulure appelée *capucine* est souvent employée pour couronner les hangars, les magasins et les bâtiments de peu d'importance.

Saillies-masses. — Ces saillies, formant la masse des moulures, se font en moellons lancés en saillie, en briques, en plâtras ou en plâtre. Celles des pans de bois sont ordinairement formées par les sablières d'entablement, que les charpentiers doivent disposer de manière à éviter une trop grande charge de plâtre. Quand la charge de plâtre n'est pas très forte, le maçon larde seulement la sablière de clous à lattes ou à bateaux; mais, quand il en est autrement, de forts rappointis doivent être enfoncés, afin que le plâtre adhère à la charpente.

Corniches droites d'entablements, etc. — Après avoir, comme il a été dit plus haut, pour le ravalement d'une façade, fait des repères aux angles du bâtiment, puis des arêtes ou des nus allant du dessous de l'entablement formé par les moellons de saillie jusqu'au socle, on procède à l'établissement des moulures de la corniche.

L'ouvrier commence par faire, sous la saillie-masse, c'est-à-dire sous les moellons de saillie, ou sous le renformis en plâtre, fait avec force rappointis quand la corniche doit être établie sur pans de bois, des petits repères verticaux en plâtre R (*fig.* 504), espacés entre eux à la demande des règles G, qui doivent servir

à traîner la corniche; ces règles ont 4 mètres de long. A l'aide du riflard, on coupe ces repères suivant une ligne tendue horizontalement du nu ou de l'arête d'une des extrémités du bâtiment au nu ou à l'arête de l'autre extrémité. Cela fait, en face des repères R, au haut et un peu sur le devant des moellons supérieurs de saillie de la corniche, on établit de même des repères R'. Pour couper ces repères à la demande de la saillie JE de la corniche, le maçon fait tenir perpendiculairement à la façade du bâtiment, le bout appliqué sur le repère R, une latte JD, sur laquelle on a marqué, par une encoche E, la saillie JE de la corniche, et il coupe le repère R' jusqu'à ce qu'un fil à plomb FE, appliqué sur son extrémité, passe par l'encoche E.

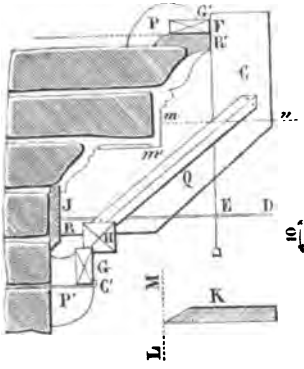


Fig. 504.

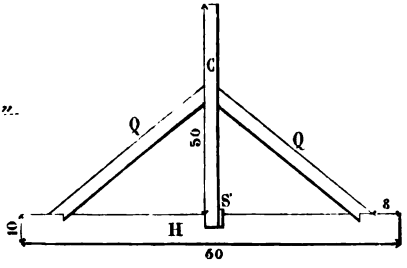


Fig. 505.

Les repères étant ainsi coupés dans toute l'étendue de la corniche, on marque sur un des repères supérieurs R' la position de l'arête supérieure F du listel de la corniche ; on reporte parfaitement de niveau cette marque sur tous les repères supérieurs; puis on les coupe tous, à la partie supérieure, suivant cette marque. On pose alors bout à bout, sur ces repères, des règles G', pour servir de chemin à la tête du calibre. Ces règles doivent affleurer la face des repères qui indique la saillie de la corniche, et elles doivent être alignées sur cette face et sur celle qui porte sur les repères, de manière à former comme une seule règle bien droite.

Les règles ainsi placées, on les fixe solidement au moyen de patins en plâtre P, disposés pour empêcher les règles de reculer et de se soulever quand le calibre passera dessus. Pour une règle de 4 mètres de longueur, on fait trois patins, un au milieu de la règle, et les autres à environ $0^m,25$ de ses extrémités.

La préparation du *calibre* consiste à le fixer (*fig.* 504 et 505)

dans un sabot H. Au milieu de la longueur de ce dernier est faite, dans la moitié de son épaisseur, une entaille de l'épaisseur du calibre, dans laquelle on fixe ce dernier au moyen d'une *serre* S', placée dans une mortaise disposée à cet effet. Le calibre est maintenu dans une position normale au sabot par deux bouts de planche ou de latte très forts Q, fixés par des pointes de chaque côté du calibre et sur le sabot, qui porte des entailles pour recevoir leurs extrémités. Ces bouts de planche forment les *bras du calibre* pour les rendre plus solides et augmenter le poids du calibre, le maçon recouvre d'une poignée de plâtre les points où ils sont cloués au calibre et au sabot. Quand le calibre est fixé, sa partie J, qui doit former le nu du mur, doit être bien parallèle au-devant du sabot, ou plutôt à la face verticale de sa feuillure.

Quand les règles supérieures sont fixées et que le calibre est préparé, on procède à la pose des règles inférieures G, qui doivent former le chemin sur lequel se mouvra le sabot du calibre pendant la traîne de la corniche.

Pour cela, on fait dans la tête du calibre une petite encoche indiquant la position du dessus du listel ou du dessous des règles supérieures ; on prend la hauteur verticale de cette encoche au-dessus de la face horizontale de la feuillure du sabot, et on la porte du dessus du listel aux repères inférieurs R, sur lesquels on l'indique par un trait ; on relève avec un mètre la distance horizontale de la face verticale de la feuillure du sabot à la partie antérieure J du calibre, qui doit former le nu du mur ; en appliquant un bout de règle ou le guillaume sur le devant et le long de la partie J, et en faisant avancer son extrémité jusqu'en face de la feuillure, on relève facilement cette distance horizontale. On pose sur de fortes chevillettes C, enfoncées dans le mur, les règles inférieures G, de manière que leur face supérieure soit à la hauteur des traits marqués sur les repères R, pour indiquer la distance du listel à la feuillure du sabot, et que leur face extérieure se trouve à une distance horizontale des repères R égale à celle de la face verticale de la rainure du sabot à l'arête J du calibre qui doit former le nu du mur. Les règles étant placées dans cette position, les maçons font gâcher du plâtre au panier, pour les sceller au moyen de forts patins P : avant la prise du plâtre de ces patins, on présente le calibre sur les règles, et l'on s'assure que celles inférieures sont bien dans la position voulue, en vérifiant si l'encoche faite sur l'arête verticale supérieure du [illegible] avec l'arête inférieure de la règle supérieure, et si l'arête J touche les repères R. Si les règles ne sont pas [illegible] dans la position convenable, les maçons les y amènent en se [illegible] avec le calibre, et en baissant, relevant ou serrant les chevillettes en fer qui les supportent ; ils achèvent ensuite les

patins, en faisant bien porter le plâtre sur les règles et en les rendant bien pleins entre les règles et le mur. Cette vérification et ce dégauchissement des règles doivent être faits avant la prise du plâtre de scellement gâché sur l'échafaud.

Pour une règle de 4 mètres de longueur, le nombre des patins est de trois, et leur distribution sur la longueur de la règle est la même que pour les règles supérieures.

Pour traîner une corniche sur pan de bois, on commence par larder la sablière de clous à bateaux et de rappointis ; en faisant glisser le calibre sur les règles, on juge si ces clous et rappointis sont suffisammant enfoncés. On enveloppe le profil du calibre d'un chiffon d'à peu près l'épaisseur du plâtre au sas qui formera l'enduit de la corniche ; on fait gâcher du gros plâtre, et on en établit la masse de la corniche au moyen du calibre enveloppé du chiffon.

Quand la saillie-masse est formée en moellons de saillie, on commence par faire sauter à la hachette les parties de moellons trop saillantes, ce que l'on reconnaît en faisant glisser le calibre sur les règles ; puis on fait le dégrossissage de la corniche avec du plâtre au panier sur lequel on passe le calibre enveloppé du chiffon.

Pendant la manœuvre du calibre, un garçon tient constamment mouillées les règles inférieures et supérieures, afin que le plâtre ne s'y fixe pas et que le sabot du calibre glisse plus facilement dessus.

La corniche une fois dégrossie, on retire le chiffon du calibre, et l'on nettoie ce dernier. Les maçons jettent vivement le plâtre sur le dégrossissage, en l'étalant sur la surface de cette partie de corniche.

Le calibre ayant passé une première fois, les maçons continuent à employer leur plâtre en garnissant les endroits où le calibre a laissé des flaches, et en même temps un garçon mouille et nettoie avec un bout de latte et un chiffon le calibre et son sabot. Le calibre est passé une seconde fois, en l'appuyant fortement sur les règles.

Lorsque le plâtre est encore un peu liquide, le calibre, dont le bord où sont dessinées les moulures est taillé en onglet et garni ordinairement d'une feuille de tôle, comme le montre la coupe K faite suivant *mn* (*fig.* 504), doit être poussé de gauche à droite dans le sens LM ; en agissant ainsi, le biseau forme évasement et comprime le plâtre en le lissant, ce qui rend le traînage plus facile. Quand, au contraire, le plâtre a déjà fait prise, que l'on éprouve quelque résistance à faire mouvoir le calibre, on est obligé de le faire mouvoir de droite à gauche, c'est-à-dire dans le sens ML, afin que le biseau du calibre coupe le plâtre, et si encore le plâtre offre par trop de résistance, on fait mouvoir le calibre

en *sciotant*, c'est-à-dire en le poussant et le retirant successivement d'une longueur de $0^m,50$ à $0^m,80$, à la manière d'un rabot; on opère ainsi jusqu'à ce que le calibre passe librement dans toute l'étendue de la corniche. Quand tout le plâtre contenu dans les auges est employé, la corniche est à peu près formée ; il arrive même parfois, qu'à part les *mouchettes* pendantes *m'*, quand il y en a, les moulures sont presque toutes formées.

On fait alors gâcher du plâtre au sas un peu plus clair et on l'emploie en passant le calibre. On termine quelquefois la corniche avec ce second plâtre ; souvent les maçons en retirent une poignée ou deux de leur auge, le mettent dans une autre auge, y ajoutent un peu d'eau ; ce troisième plâtre est employé en en garnissant à la main tous les membres de moulures ; le calibre se passe alors avec vivacité. Si les moulures étaient raboteuses, on ferait gâcher clair un peu de plâtre, on le laisserait un peu couder, et on le poserait, en passant vivement le calibre.

Corniches droites d'attiques, de frontons droits, de chambranles, etc. — Lorsque les corniches d'attiques ou de frontons n'ont pas une forte saillie, il arrive qu'on ne fait pas à l'avance de saillie-masse. Dans ce cas, le premier travail consiste à former cette masse au moyen d'un renformis en plâtras et plâtre, en augmentant son adhérence au mur, en enfonçant dans ce dernier de forts rappointis, ou en y scellant quelques *queues-de-carpes* en fer. Autant que possible, et quelle que soit la saillie de l'attique à traîner, on doit former la saillie-masse avec des moellons lancés en saillie lors de la construction du mur.

Pour exécuter les moulures d'une corniche d'attique, le maçon suit la même marche que pour une corniche d'entablement.

Pour les *corniches de frontons*, l'ouvrier commence par couper les repères et poser les règles à la demande de la position et de l'inclinaison des côtés du fronton ; puis il emploie son plâtre et traîne les corniches, comme pour les entablements.

Pour les moulures d'un fronton, on traîne d'abord les deux côtés inclinés, on en fait à la main le raccord au sommet; on traîne ensuite la corniche horizontale, on fait l'enduit des parties angulaires et l'on fait les angles et les raccords à la main.

Pour traîner les *moulures d'un chambranle de porte ou de croisée*, l'axe de la porte ou de la croisée étant bien déterminé, le maçon commence par prendre sur le calibre C (*fig.* 506), la largeur de la moulure du chambranle ; puis, après avoir coupé des repères *a* suivant le nu du mur, au bas et en haut des montants verticaux du chambranle, à l'extérieur des moulures, il bat un nu *n*, en appliquant une règle plate ou carrée sur les deux repères *a*. Un nu semblable est battu à l'extérieur de l'autre montant vertical ; puis le maçon bat le nu *n'*, immédiatement au-dessus des mou-

lures horizontales du chambranle. Ces nus, qui font l'office d'une règle dans le traînage des moulures, doivent être en plâtre au sas gâché serré.

Dans un ravalement on fait souvent tous les nus devant servir au traînage des chambranles des croisées, puis l'enduit des trumeaux que l'on raccorde avec ces nus; en dernier, on fait les moulures des chambranles ; les nus ont ainsi le temps de sécher et de durcir avant que l'extrémité du calibre passe dessus. En traînant les chambranles, on barbouille les enduits des trumeaux d'un peu de plâtre ; mais un léger grattage à la truelle brettée y remédie. Sur certains chantiers on fait les moulures avant les trumeaux.

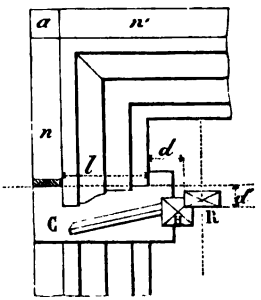


Fig. 506.

Les nus étant battus autour du chambranle, le maçon prend sur le calibre, qui a été préparé, l'écartement *d* de la partie du calibre devant former l'arête du tableau à l'arête de l'angle rentrant de la feuillure du sabot H; il prend aussi la distance *d'* de cette arête de feuillure au plan du nu *n* du mur ; puis il pose une règle R verticalement, à la distance *d* du tableau, et à celle *d'* du nu *n'*, comme la figure 506 l'indique en coupe; il fixe la règle R dans cette position, à l'aide de trois chevillettes placées, l'une en son milieu, et les deux autres à ses extrémités. Alors le maçon fait glisser le sabot H sur la règle R et sur le nu *n*, pour s'assurer que partout le calibre est bien à la distance voulue de l'axe de la baie, et que les membres de moulures droits sont bien parallèles au nu du mur. Cette vérification faite, il fait gâcher un peu de plâtre pour sceller parfaitement la règle par trois patins, un à chaque extrémité de la règle, et un autre au milieu, pour empêcher toute flexion.

La règle fixée, le maçon fait gâcher du plâtre, et il l'emploie au traînage des moulures, en opérant comme pour une corniche.

Lorsque les moulures d'un montant de chambranle sont terminées, le maçon pose sa règle et traîne l'autre montant, en suivant la même marche que pour le premier ; puis il traîne les moulures de la traversée horizontale du chambranle, et il ne reste plus qu'à faire à la main les raccords d'angles et ceux des parties inférieures des montants.

Beaucoup de maçons placent d'abord les règles des deux montants et traînent ceux-ci ensemble.

Corniches droites de plafonds. — Pour établir la corniche qui doit entourer un plafond, les maçons commencent par clouer et sceller avec une poignée de plâtre un bout de latte contre une

solive, au centre du plafond et normalement à sa surface. Sur ce bout de latte se trouve une encoche qui indique le niveau du dessous de l'enduit du plafond, et, à l'aide des règles, on reporte le niveau de l'encoche aux quatre angles du plafond. Dans le cas où le niveau de l'encoche serait supérieur à un ou plusieurs des angles du plafond, on l'abaisserait jusqu'au-dessous de ces angles ; s'il devait, au contraire, nécessiter une trop forte charge de plâtre aux angles, on le relèverait de manière à réduire à 1 centimètre la charge sur les augets. Le niveau, reporté du milieu du plafond à chaque angle, s'indique par un trait que l'on trace sur des repères verticaux coupés contre les murs, mais cela, en faisant un emprunt, c'est-à-dire en les traçant sur les repères à 0m,25 à 0m,30 en contre-bas du niveau réel.

Lorsque le niveau du plafond est ainsi reporté aux quatre angles, on fait sur le plafond, perpendiculairement aux murs, et à des distances déterminées par la longueur des règles, des repères que l'on coupe suivant ce niveau. On relève alors sur le calibre C (*fig.* 507) qui a été préparé, la distance D du mur à la tête *t* du calibre ; à partir des murs, on reporte cette distance sur les repères du plafond, et tout autour du plafond on bat des nus *o*, pour servir de chemin à la tête du calibre. Pour *battre ces nus*, les maçons doivent bien appliquer leurs règles sur les repères et les placer à la distance indiquée par la tête du calibre : ces nus doivent, comme ceux de chambranles, être faits avec du plâtre gâché le plus serré possible, car ils ont aussi à résister à la tête du calibre, qui doit glisser dessus comme sur une règle.

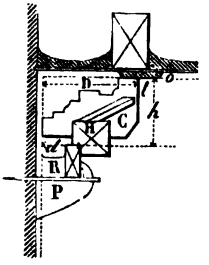


Fig. 507.

Ces nus achevés, on fait le crépi et l'enduit du plafond, et l'on termine par la corniche, ou bien on commence par traîner la corniche, et l'on fait le crépi et l'enduit.

Pour traîner les corniches, on prend l'*écartement d* de la partie de calibre qui doit former le nu du mur à la face verticale de la feuillure du sabot H ; on relève aussi la hauteur *h*, de l'arête du calibre qui doit s'appuyer sur le nu du plafond, au-dessus de la face horizontale de la feuillure du sabot. Alors, sur des chevillettes plantées dans les murs, on pose les règles R, de manière que leur face verticale opposée au mur soit à la distance *d* du nu de ce mur, et que leur face supérieure horizontale soit à celle *h* du nu du plafond ; on scelle les règles dans cette position avec des patins en plâtre P, en s'assurant que le calibre est partout à une distance convenable des nus des murs et du plafond, et que les membres de moulures seront bien droits et bien de niveau.

Quand les règles sont dans une position convenable, on les y scelle, en établissant les patins au droit des chevillettes et en les faisant pleins derrière les règles.

Quand les règles sont posées, les maçons font gâcher du plâtre, et l'emploient au traînage de la corniche, en opérant comme pour les corniches précédentes.

Corniches circulaires pour archivoltes, arcs-doubleaux, plafonds, etc. — Pour traîner une corniche circulaire d'archivolte de porte, de croisée, de niche, etc., on commence par couper des repères suivant le nu du mur, et à battre trois nus, deux verticaux *a* et un horizontal *b*, qui encadrent l'archivolte (*fig.* 508) ; puis on place une traverse horizontale T, de manière que la broche en fer rond *f*, destinée à servir de pivot à la tige

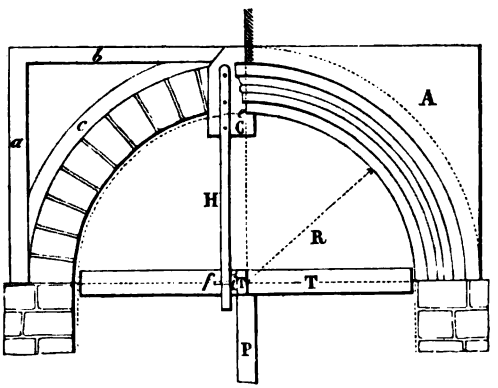


Fig. 508.

ou support du calibre, se trouve bien au centre de l'archivolte, et que sa face extérieure soit de $0^m,04$ à $0^m,05$ en dehors du nu du mur; on maintient solidement cette traverse dans la position convenable par des chevillettes et de bons patins en plâtre, placés à ses extrémités. Lorsque la largeur de la baie excède $1^m,40$ à $1^m,50$, si l'on craint que la traverse fléchisse, on la soutient en son milieu par un poteau montant P, dont on scelle le pied par un bon patin en plâtre.

Quand la traverse T est ainsi posée, on prend, avec un bout de ligne, le rayon extérieur de l'archivolte ; on fixe une des extrémités de ce bout de ligne à la broche centrale, et, à l'aide d'une pierre noire qu'on tient à son autre extrémité, on détermine, par une ligne qu'on trace sur le mur, la position du nu circulaire *c* sur lequel doit s'appuyer la tête du calibre pendant la traîne de l'archivolte. On bat ce nu, en le redressant avec les nus verti-

caux et celui horizontal qui encadrent l'archivolte; parfois, comme il est indiqué en A, on enduit toute la surface comprise entre les nus droits et l'extérieur du nu circulaire, qui doit être parfaitement dressé.

Le nu circulaire étant coupé, le maçon, après avoir fixé le calibre C à la tige H, prend exactement la demi-ouverture R de la baie entre ses tableaux, et il la porte sur la tige H, à partir du point *c* du calibre qui doit former l'arête du tableau; il marque un trait à l'endroit où cette demi-ouverture aboutit, et au milieu de ce trait il fait dans la tige H un trou assez grand pour que la broche en fer *f*, placée au milieu de la traverse T, et qui doit servir de pivot au calibre, y entre à frottement doux. L'ouvrier place un prisme en bois *i*, percé d'un trou, entre la traverse T et la tige H. Le maçon fait tourner le calibre autour de son pivot, en en appuyant la tête sur le nu circulaire *c*, pour s'assurer qu'il fonctionne convenablement; il fait alors gâcher son plâtre, et il l'emploie au traînage des moulures, en prenant les mêmes précautions que pour les corniches droites, et en ayant bien soin d'appuyer ou de faire appuyer la tige H contre la traverse T et la tête du calibre sur le nu circulaire.

Les moulures de l'archivolte étant traînées, on fait celles des montants verticaux, en opérant comme pour les chambranles.

Toutes les moulures circulaires, pour frontons cintrés, œils-de-bœuf, etc., s'exécutent, sur des murs plans, de la même manière que les archivoltes. Il en est de même des moulures circulaires sur plafonds plans; seulement, dans ce cas, la tige du calibre est horizontale au lieu d'être verticale, et la broche qui lui sert de pivot est fixée verticalement dans le plafond.

Pour les *arcs-doubleaux* (*fig.* 509), lorsque les moulures A et B de l'archivolte et de l'arc-doubleau n'ont pas trop de développement, on les fait avec le même calibre C; mais, dans le cas contraire, on les traîne séparément. Quand la largeur de l'arc-doubleau n'excède pas 0m,40 à 0m,50, on traîne parfois d'un seul coup les deux profils B et B', et le calibre forme en même temps la partie de plafond circulaire P, comprise entre ces deux profils. Quand l'arc-doubleau a beaucoup de largeur, on fait séparément chaque moulure d'angle, et l'on enduit la partie de plafond qui les sépare, en se guidant pour la dresser sur les deux nus qu'a formés le calibre. Le calibre se manœuvre comme pour une archivolte.

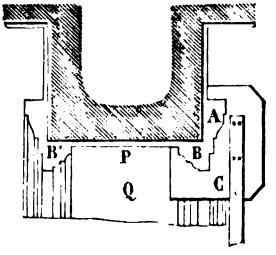


Fig. 509.

Moulures à courbure elliptique. — Le moyen le plus employé pour ces moulures consiste à couper des nus suivant la courbure de l'ellipse et à faire glisser le calibre dessus sans sabot.

Le tracé de la courbure elliptique, dit *tracé du jardinier*, se fait de la manière suivante : Lorsqu'il s'agit de couper l'arête extérieure ou de traîner les moulures d'une baie de croisée à courbure elliptique, l'ouvrier dispose d'abord (*fig.* 510) une planche P, de manière que son milieu coïncide à peu près avec le grand axe AA′ de l'ellipse ; il marque par un trait cet axe sur la planche, et il en indique la longueur ou la grande dimension de l'ellipse ; il trace ensuite, au milieu de AA′, une perpendiculaire, sur laquelle il porte le petit axe BB′ de l'ellipse. Cela fait, il prend un bout de cordeau d'une longueur égale au grand axe AA′ ; il le ploie en deux par le milieu, et, plaçant ce milieu à l'extrémité B du petit axe, il ramène les extrémités libres sur le grand axe en tenant le fil tendu ; ces extrémités déterminent deux points F et F′, qui sont également distants des sommets A et A′, et qu'on nomme les *foyers* de l'ellipse. En chacun de ces foyers on implante un clou dans la planche P, et à ces clous on fixe les extrémités du cordeau, en ayant soin que la longueur du cordeau reste égale au grand axe AA′. Si tout ce qui précède a été bien exécuté, faisant glisser une pointe G sur toute la longueur du cordeau dont on tient les deux brins GF′ et GF toujours bien tendus, cette pointe décrit une ellipse qui a AA′ pour grand axe et BB′ pour petit axe, et l'on conçoit qu'il soit facile de tracer cette ellipse sur le mur. Il convient de n'enfoncer convenablement les clous aux foyers F et F′ que quand on s'est assuré que la pointe G passe bien par les extrémités des axes.

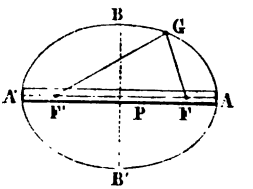


Fig. 510.

Selon que le grand axe de l'ellipse est horizontal ou vertical, on place évidemment la planche P horizontalement ou verticalement.

Pour les petites croisées elliptiques, parfois, quand on en a plusieurs de mêmes dimensions, on fait faire, pour traîner les moulures au calibre, une règle intérieure et un sabot ayant l'un et l'autre la courbure elliptique de la croisée.

Pour les moulures des plafonds de pièces elliptiques, on coupe d'abord les repères du plafond jusqu'à une distance des murs égale à la longueur du calibre ; on fait ensuite sur les murs montés sur plan elliptique des repères très rapprochés, que l'on coupe de manière à laisser une charge suffisante sur les murs, et que la courbure de ces derniers soit la plus régulière possible ;

on applique alors des règles un peu flexibles sur ces repères, en leur faisant prendre le mieux possible la courbure elliptique; puis, les ayant scellées dans cette position par les mêmes moyens que pour les plafonds polygonaux, on traîne les moulures en faisant glisser le calibre sur ces règles, aussi comme pour les plafonds limités par des polygones.

Tracé de l'ellipse par points, à l'aide d'une règle seulement. — AA′ et BB étant les axes de l'ellipse à tracer (*fig.* 511), marquant sur l'arête d'une règle mince CD trois points C, E, G, tels que l'on ait CG = OA le demi-grand axe, et EG = OB le demi-petit axe, d'où CE = AO — OB, différence des demi-axes, si l'on fait mouvoir la règle CD de manière que le point E reste constamment sur AA′ et le point C sur BB′, le point G se mouvra sur l'ellipse ayant AA′ et BB′ pour axes. On conçoit que l'on puisse alors tracer sur cette courbe d'un mouvement continu, ou du moins en déterminer autant de points qu'on voudra, et que, traçant une courbe continue qui raccorde tous ces points, on pourra pratiquement la prendre pour l'ellipse.

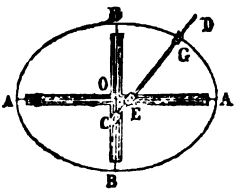


Fig. 511.

Le **compas à ellipse,** appelé équerre mobile par les maçons (*fig.* 511), fondé sur le tracé précédent, permet de décrire l'ellipse d'un mouvement continu. Il est formé de deux coulisses assemblées à équerre, de manière que leurs axes puissent à la fois coïncider avec les deux axes AA′ et BB′ de l'ellipse à tracer, et d'une règle CD portant deux curseurs E et G, que l'on peut fixer en deux points quelconques de la longueur de la règle. Le curseur E est garni d'une patte à pivot qui peut glisser dans la coulisse AA′; l'autre curseur G porte une pointe ou un crayon qui trace la courbe quand on fait mouvoir la règle CD. A l'extrémité C de la règle se trouve un support à pivot qui glisse dans la coulisse BB′. La section des évidements des coulisses est trapézoïdale, afin que les supports du curseur E et du pivot C ne puissent qu'y glisser. Ayant fixé les curseurs E et G de manière qu'on ait CG = OA et EG = OB, si, après avoir fait coïncider les axes des coulisses avec les axes de l'ellipse, on fait tourner la règle CD, le point C se mouvra sur l'axe BB′ et celui E sur l'axe AA′, et, comme dans le cas précédent, le point G décrira l'ellipse.

Le compas à ellipse peut s'employer pour traîner les moulures elliptiques; il suffit, en effet, de fixer le calibre au curseur G, en le dirigeant dans le sens de la règle CD. L'évidement des coulisses a environ $0^m,08$ de largeur au fond, $0^m,06$ en haut et de $0^m,05$ à $0^m,06$ de profondeur lorsqu'il s'agit de traîner des moulures elliptiques de $0^m,50$ à $1^m,50$ de grand axe; pour des axes plus

grands, les dimensions des coulisses augmentent en conséquence.

En faisant usage de ce compas, le maçon traîne des moulures elliptiques en opérant absolument de la même manière que pour traîner une archivolte. Il mouille constamment les coulisses, dans lesquelles les supports du curseur E et du pivot C doivent se mouvoir assez librement; il évite de faire jaillir du plâtre sur ces coulisses et de l'y laisser sécher.

Quand le maçon a bien fait coïncider les axes des coulisses avec ceux de l'ellipse, il les soutient aux extrémités à l'aide de chevillettes, et ayant vérifié si le calibre décrit bien la courbe voulue, il les scelle au moyen de patins en plâtre.

Ressauts dans les moulures. — Les moulures droites ou circulaires formant des retours, des contre-profils et des ressauts, se font de la même manière que celles qui sont droites dans toute leur longueur, en traînant d'abord les parties les plus rapprochées des nus des murs, puis celles qui s'en éloignent davantage, et en terminant par celles qui en sont le plus espacées. Pour traîner les moulures d'une corniche qui ferait les ressauts

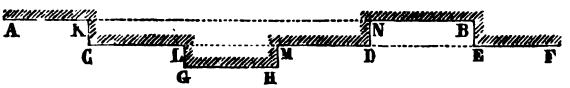


Fig. 512.

indiqués en plan par la figure 512, l'ouvrier commencerait par poser ses règles suivant les portions AK, NB, qu'il traînerait du même coup de calibre ; il disposerait ensuite ses règles pour traîner de même les portions CL, MD, EF ; puis il traînerait en dernier lieu la partie GH. Toutes les parties des moulures étant traînées, il ne reste plus, pour terminer la corniche, qu'à couper à la main les angles saillants C, G, H, D, E et ceux rentrants K, L, M, N, B.

Coupage des moulures à la main. — Les moulures que l'on coupe le plus souvent à la main sont les raccords de chambranles, de frontons, d'archivoltes, etc. ; ceux de vieilles corniches, jusqu'à 1 mètre et parfois 1m,50 de longueur, pour ne pas faire de calibre lorsqu'il n'y a qu'une partie de la longueur à raccorder; les angles saillants ou rentrants de corniches vieilles ou neuves pour entablements, attiques, plafonds, chambranles, etc.

Le coupage de l'angle rentrant (*fig.* 513) se compose du coupage de l'angle saillant B*b*, de celui de la partie B'*b*'E, qui a été profilé à la main, et de celui de la partie AB qui raccorde les

deux angles. Quand le calibre n'est pas venu jusqu'au point B, il y a aussi un petit prolongement de moulure à faire à la main.

Le coupage d'un angle saillant consiste dans le recoupage du profil pour terminer cet angle, et dans un léger raccord des parties laissées imparfaites lors du passage du calibre.

Pour couper l'angle rentrant A*a* d'une corniche formant un ressaut dont le profil est B*b'*, par exemple, les portions de corniche DA et BC ayant été traînées, celle DA jusqu'en *a*, et celle BC jusqu'en B et même un peu plus avant vers D, le maçon commence par tracer le profil B'*b'* de l'angle du ressaut sur les moulures de la partie BC de la corniche. Pour cela, appliquant son fil à plomb contre le listel BC, il le dégauchit avec les points B, *b* et tous les sommets des angles des autres membres de moulures, et avec son petit fer, qu'il tient appliqué successivement sur les membres de moulures, il marque la position de ces sommets. Ce tracé achevé, le maçon garnit de plâtre fin toute la partie en retour B'*b'*, de manière à former une saillie-masse dans laquelle tous les membres de moulures puissent être évidés; ainsi, pour le profil de la figure 513, la saillie-masse se terminerait à la ligne *fe*. Quand cette saillie-masse a fait prise, le maçon fait tenir son niveau N par son garçon, de manière (*fig.* 513) qu'un de ses côtés étant successivement appliqué sur chacun des principaux membres de moulures, l'autre côté corresponde au point qui vient d'être marqué au sommet du ressaut de chacun de ces membres de moulures; alors, appliquant son guillaume G contre ce dernier côté du niveau, il coupe toutes les moulures entre les angles A*a* et A*b*. Après le dégrossissage au guillaume et au riflard, le maçon termine avec les gouges et les autres petits fers. Un peu de plâtre à la pelle est ensuite gâché pour octer les moulures coupées à la main, afin de leur donner l'aspect des parties traînées au calibre. Le plâtre à la pelle étant posé légèrement sur les moulures, le maçon le nettoie vivement avec le petit fer, la gouge ou le grattoir, et termine ainsi le coupage du ressaut.

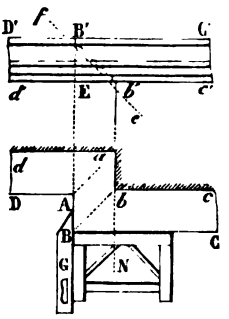


Fig. 513.

Raccords d'angles de vieilles corniches. — Pour faire un raccord d'angle rentrant d'une vieille corniche, le maçon, après avoir haché le vieux plâtre et formé à peu près la masse brute de l'angle, commence par former avec une poignée de plâtre la partie AB du listel de la corniche (*fig.* 513), et il la coupe suivant AB, en la raccordant de plus avec le listel des portions AD et BC de la corniche ; on parvient à couper les angles

bien d'équerre, à l'aide du niveau et du guillaume, comme pour les corniches neuves. Le listel ainsi préparé, le maçon coupe, en prenant les mêmes précautions, le membre inférieur E de la corniche, de manière à former les angles *a* et *b*. Avec sa hachette il fait alors sauter le plâtre qui est trop en saillie, et, faisant gâcher du plâtre fin aussi serré que possible, il le pose pour former la saillie-masse. Quand le plâtre a fait prise, le maçon passe le guillaume sur les membres de moulures de la partie BC de la corniche, pour les prolonger jusqu'à la limite *fe* de la saillie-masse ; puis il fait le tracé de l'angle et termine la coupe, comme il a été dit au numéro précédent, pour les corniches neuves.

1° Par mètre carré d'une corniche d'entablement composée de dix membres de moulures, et dont le développement du profil est de $0^m,75$ (*fig.* 514) :

$0^{mc},010$ de plâtre pour faire les repères et sceller les règles ;
0 ,165 de plâtre pour traîner la corniche, dont la saillie-masse était formée en moellons de saillie ;
$0^h,8$ d'un maçon avec son garçon pour faire les repères, poser et sceller les règles, et préparer le calibre ;
$1^h,7$ d'un maçon avec son garçon pour traîner la corniche et desceller les règles.

2° Par mètre carré d'une corniche de plafond composée de

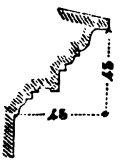


Fig. 514.

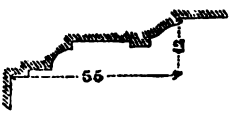


Fig. 515.

Fig. 516.

neuf membres de moulures et dont le développement du profil est de $0^m,48$ (*fig.* 515) :

$0^{mc},12$ de plâtre pour faire les repères, sceller les règles et traîner la corniche ;
$1^h,2$ d'un maçon avec son garçon pour faire les repères, poser et sceller les règles, et préparer le calibre ;
$2^h,4$ d'un maçon avec son garçon pour traîner la corniche et desceller les règles.

3° Par mètre carré d'une corniche de chambranle de croisée composée de cinq membres de moulures, et dont le développement du profil est de $0^m,39$ (*fig.* 516) :

$0^{mc},10$ de plâtre pour faire les repères, battre les nus, sceller les règles et traîner la corniche ;

1h,3 d'un maçon avec son garçon pour faire les repères, battre les nus, sceller les règles et préparer le calibre ;
2h,7 d'un maçon avec son garçon pour traîner la corniche et desceller les règles.

4° Par mètre carré d'une corniche circulaire d'archivolte de porte, de même profil et de même développement que la corniche (*fig.* 516) :

0mc,155 de plâtre pour faire les repères, battre les nus, sceller la traverse et traîner la corniche ;
2h,2 d'un maçon avec son garçon pour couper les repères, battre les nus, sceller la traverse et préparer le calibre ;
2h,9 d'un maçon avec son garçon pour traîner la corniche et desceller la traverse.

Dans les sous-détails précédents ne se trouve pas comprise la main-d'œuvre nécessaire au recoupage des angles saillants et rentrants, et des autres raccords faits à la main. Quant à la quantité de plâtre employée, à égalité de surface, elle est à peu près la même pour les angles et autres raccords coupés à la main que pour les corniches traînées au calibre.

Le temps employé pour couper un angle saillant est à peu près le tiers de celui nécessaire au coupage d'un angle rentrant dans la même corniche.

Pour les parties de corniches en raccord, coupées à la main, le temps nécessaire à leur exécution est à peu près le double que pour les parties profilées au calibre.

Pour couper un angle rentrant dans une corniche en plâtre ayant le profil de la figure 514, et dont la longueur de raccordement formant ressaut était de 0m,15, il a fallu :

0mc,03 de plâtre ;
2h,8 d'un maçon avec son garçon.

Les longueurs des parties de moulures recoupées à la main pour cet angle étant, en moyenne, de 0m,26 environ, et le développement du profil de 0m,75, la surface de moulures coupée est de $0^m,75 \times 0^m,26 = 0^m,165$ environ.

D'après ces nombres et le sous-détail précédent, il résulte que, pour exécuter 1 mètre carré de moulures, profilées à la main, pour angles rentrants, il faut :

0mc,154 de plâtre ;
14h,4 d'un maçon avec son garçon.

Le coupage des moulures à la main comprend encore l'évidement des denticules simples, à languettes de chart, à la grecque ou en bâtons rompus ; celui des mutules, des modillons et des consoles, et aussi des triglyphes et gouttes en plâtre.

Joints et refends en plâtre. — Les joints destinés à faire figurer des assises de pierre de taille dans la maçonnerie enduite de plâtre, sont ordinairement tirés au crochet. L'ouvrier doit faire horizontaux les joints figurant les lits de pierre, et verticaux ceux qui figurent les joints montants. Les divisions de parements doivent, autant que possible, être faites à l'avance. En passant le *tire-joint*, l'ouvrier doit le maintenir de manière à tracer un joint bien net et d'une profondeur uniforme sur toute sa longueur ; les sinuosités dans le fond des joints font mauvais effet.

Les refends s'exécutent en plaçant contre la surface du mur, avant de faire l'enduit, des petits réglets en bois ayant la même section que les refends ; on en applique trois ou quatre à la hauteur des joints, où on les fixe par des petites poignées de plâtre, et faisant l'enduit de la surface où ils se trouvent, dressant à la truelle brettée cet enduit jusqu'au niveau des réglets, puis décollant ces réglets, les refends se trouvent tout formés. Pour que les réglets se descellent facilement et sans écorner les arêtes des refends, le maçon les savonne ou les graisse avant de les poser.

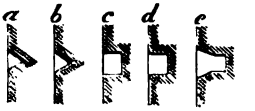


Fig. 517.

La figure 517 représente les sections qu'on donne aux refends : ainsi ces formes sont triangulaires avec arêtes vives *a*, ou arêtes arrondies *b* ; carrées avec arêtes vives *c*, ou arêtes arrondies *d* ; et carrées au fond et évasées à la surface *e*. La largeur de ces refends varie de $0^m,02$, à $0^m,06$.

Cheminées, jambages, contre-cœurs, pose de chambranles. — A Paris, souvent les maçons ne font qne monter les jambages et hourder les manteaux de cheminées ; le marbrier pose ensuite les chambranles, et le fumiste s'occupe des dispositions intérieures de la cheminée.

Lorsque le maçon monte la cheminée entièrement, la cheminée étant en plâtre, on commence par tracer sur le sol l'emplacement des jambages J (*fig.* 518 et 519), puis on érige ces jambages en plâtras et en plâtre, ou en briques. Les jambages étant montés jusqu'à la hauteur du manteau M, le maçon établit ce manteau. Pour cela, il place deux barres de fer carrées, s'appuyant sur les jambages, l'une sur la languette du tuyau, et l'autre à $0^m,10$ ou $0^m,15$ en avant des jambages ; il pose ensuite un bout de planche horizontalement à quelques centimètres en dessous des barres de fer, afin que ces dernières se trouvent entièrement recouvertes de plâtre, et sur ce bout de planche il établit, en plâtras et en plâtre, toute la masse du manteau ; cette planche est enlevée quand le plâtre a fait prise.

Comme il a été dit page 758, l'épaisseur des jambages et du

manteau est à peu près le 1/10 de la largeur de la cheminée, laquelle varie de 0m,80 à 1m,30.

Quand les jambages et le manteau sont formés, s'ils ne doivent pas être recouverts de plaques de marbre, l'ouvrier les enduit extérieurement en plâtre ; s'ils doivent être revêtus en marbre, au lieu de faire cet enduit, il pose les chambranles. Pour cela, il pose d'abord les plaques verticales, en les liant, à la place qu'elles doivent occuper, à l'aide d'une corde située vers le milieu de la hauteur, et dont les extrémités se fixent à deux pointes implantées dans le jambage. Ces plaques de pierre ou de marbre étant ainsi placées bien d'aplomb et dans l'alignement voulu, le maçon les fixe à leurs extrémités aux jambages par des pattes à scellement. Il pose ensuite la traverse horizontale H, qu'il fixe de même au manteau par des pattes à scellement, et

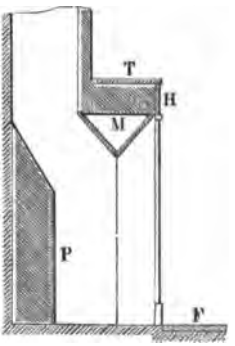


Fig. 518.

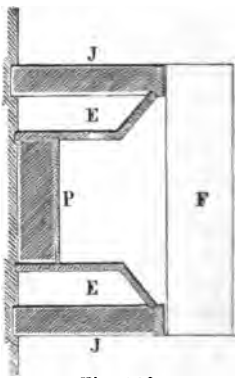


Fig. 519.

alors il pose la tablette T qui recouvre le manteau, en ayant soin de la tenir espacée de 0m,01 à 0m,02 du devant du tuyau de la cheminée, afin qu'elle ne se fende pas par suite du gonflement du plâtre ; ce qui arriverait, si elle était prise dans le tuyau. Le chambranle étant entièrement posé, le maçon enduit les côtés des jambages; puis il exécute le contre-cœur, qui est destiné à diminuer l'ouverture de la cheminée.

Les contre-cœurs, qui se font en briques ou en planches de plâtre de 0m,04 à 0m,05 d'épaisseur, ont à peu près les dispositions indiquées par la figure ; on les recouvre assez souvent de carreaux ou de plaques de faïence. En même temps qu'on les établit, on pose la plaque de fonte P un peu en avant du mur, pour approcher le feu sur le devant de la cheminée, diminuer le passage de la fumée et faire mieux rayonner la chaleur. L'espace compris entre la plaque de fonte P et le mur est ordinairement

rempli de plâtras posés à sec que l'on recouvre ensuite d'un enduit en plâtre au panier, en inclinant le dessus, que l'on raccorde avec l'arête supérieure de la plaque. Les espaces E, compris entre les jambages et le contre-cœur, restent ordinairement vides; on y établit parfois des ventouses, et ils servent à loger les poids destinés à faire équilibre à la fermeture de la cheminée, quand elle est à la prussienne.

Quand les pièces sont parquetées, le carrelage du foyer se prolonge à $0^m,30$ environ en avant des jambages; souvent cette avance F, qu'on nomme *foyer*, est en marbre.

Pour établir une cheminée de $1^m,10$ de largeur extérieure et de $1^m,05$ de hauteur de tablette, dont les jambages sont montés et le manteau hourdé à l'avance, le temps et les matériaux sont, non compris la pose du chambranle en marbre :

1° Quand le contre-cœur est en plâtre :

$0^{mc},150$ de plâtre ;
16^h d'un maçon avec son garçon.

2° Quand le contre-cœur est en briques :

$0^{mc},110$ de plâtre ;
18 briques ;
18^h d'un maçon avec son garçon.

Le temps nécessaire à la pose et au scellement du chambranle en marbre d'une cheminée ayant les dimensions précédentes est de $3^h,5$ d'un maçon avec son garçon.

Cheminées de cuisine. — Les cheminées avec hotte, pour les cuisines, se composent de deux jambages en briques ou en plâtras hourdés, formant console pour supporter le bâti du manteau de la cheminée. Du dessus de ce manteau, part le pigeonnage incliné, formant la hotte, en laissant sur le devant une partie horizontale de $0^m,10$ à $0^m,15$ de largeur, laquelle sert de tablette pour placer quelques ustensiles de cuisine.

Souvent ces cheminées forment fourneau et sont élevées à $0^m,70$ ou $0^m,80$ au-dessus du sol; on place à côté, et au même niveau, une pierre d'évier.

Fours à cuire le pain. — Ces fours se construisent en briques. L'âtre et la pierre-chapelle s'établissent à $0^m,85$ ou $0^m,95$ au-dessus du sol. Le diamètre intérieur des fours varie de $0^m,89$ à $0^m,97$ pour les petits, de $1^m,14$ à $1^m,30$ pour les moyens, de $1^m,46$ à $1^m,62$ pour les grands, et pour les fours de manutention il est de $3^m,25$ à $3^m,90$ et jusqu'à $4^m,20$.

La voûte ou calotte s'établit en tuileaux ; on l'élève de $0^m,35$ à $0^m,45$ au-dessus de l'âtre ; autant que possible, on l'extradosse horizontalement, et on lui donne de $0^m,30$ à $0^m,40$ d'épaisseur à la clef. La couverture du cendrier est formée par une voûte en

briques, et l'aire du four, qui reçoit le feu et la pâte à cuire, est carrelée en carreaux épais non cuits, ou en briques de champ.

La hotte construite au-devant du four, pour l'expulsion de la fumée, se dirige dans le tuyau de cheminée qui doit servir au dégagement de la fumée, et la bouche du four se dispose de manière que l'enfournement puisse se faire sans difficulté.

Sièges d'aisances. — Les sièges les plus simples se font en maçonnerie de moellons ou de plâtras hourdés en plâtre, dans laquelle on réserve un vide circulaire, ayant en bas le diamètre du conduit, et en haut celui de l'ouverture de la tablette en menuiserie, qui recouvre ordinairement la maçonnerie. La face supérieure de cette tablette se place à $0^m,40$ ou $0^m,45$ au-dessus du sol. Le devant de la maçonnerie se recouvre d'un enduit, et, à l'aide de solins, on scelle la tablette et on la raccorde avec les murs.

Les cuvettes en faïence sont posées par les plombiers-fontainiers; le maçon scelle et établit le massif du siège.

Afin d'éloigner convenablement la lunette du mur, pour rendre le siège plus commode, on tient la calotte assez basse et assez éloignée du siège pour permettre d'y embrancher un ou plusieurs tuyaux de fonte ou de terre cuite[1].

Solins et calfeutrement. — Les solins sont de petites bandes d'enduits en plâtre, de $0^m,05$ à $0^m,15$ de largeur, qu'on établit pour raccorder des surfaces. Il faut piquer avec soin les parties où doivent s'établir les solins, afin d'augmenter l'adhérence du plâtre.

Les calfeutrements de croisées, les raccordements de chambranles de cheminées et les solins du derrière des tablettes doivent être faits en plâtre gâché très clair, afin d'éviter les effets qui résulteraient du gonflement du plâtre, s'il était gâché serré.

Pour que les calfeutrements de croisées aient quelque solidité, on doit hacher avec soin l'enduit de la feuillure au droit des dormants; s'il n'en était pas ainsi, le plâtre tomberait en très peu de temps.

Les petits solins établis au pourtour des parquets, les collets des marches d'escalier, et tous les petits solins de même espèce, doivent, à l'opposé des précédents, être faits en plâtre bien gâché.

Pour faire 1 mètre de longueur d'un petit solin de $0^m,05$ à $0^m,06$ de largeur sur $0^m,02$ d'épaisseur, il faut:

$0^{mc},0015$ de plâtre, déchet compris;
$0^h,15$ d'un maçon avec son garçon.

Réparations. — Ces travaux comprennent les ravalements en

[1] Voir, plus loin, *Assainissement par le tout à l'égout.*

plâtre sur anciennes constructions, les rejointoiements de vieux parements, le rétablissement de plafonds, de corniches, de *naissances* ou petites parties de crépis et enduits en raccordement avec un ancien ouvrage, la fermeture de lézardes ou crevasses, c'est-à-dire de fentes, qui se manifestent par suite de tassements inégaux ou de disjonctions dans les différentes parties d'un édifice.

Ces divers travaux s'exécutent comme il a été indiqué pour les maçonneries neuves, sauf la préparation des surfaces à réparer, qui consiste dans le hachage du vieux plâtre, et le nettoyage et le mouillage. Les lézardes doivent être hachées au vif, en queue d'aronde, c'est-à-dire plus larges au fond qu'à la surface. La largeur des refouillements varie ordinairement entre $0^m,03$ et $0^m,16$.

Carrelage[1]. — Pour carreler une pièce, l'ouvrier commence par s'assurer du niveau de son sol ; puis il régularise la forme en répandant sur l'aire en plâtre de la poussière provenant de démolitions d'ouvrages en plâtre et de recoupes de pierres passées au panier.

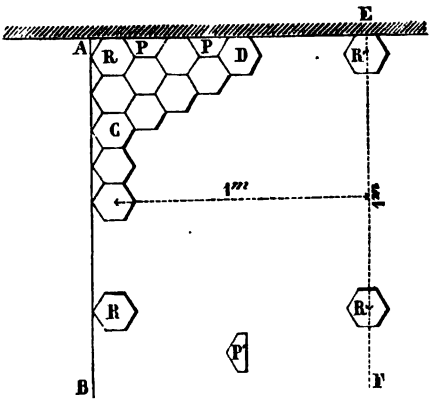


Fig. 520.

Au plâtre employé au carrelage, l'ouvrier mêle une certaine quantité de suie, afin d'en retarder la prise et d'avoir le temps d'arranger ses carreaux sur la couche de plâtre qu'il étend.

Le niveau des pièces se prend à celui de dessus des seuils pour les rez-de-chaussée, et à celui de la marche palière pour les étages supérieurs. L'ouvrier, après avoir arrêté le niveau à l'aide de carreaux R, placés de distance en distance, en forme de repères (*fig.* 520), place un cordeau AB au milieu de la largeur

[1] Voir, plus loin, *Pavage*, *carrelage*, etc.

de la pièce, dans le sens de sa longueur, suivant les repères qu'il y a posés; il fait alors gâcher du plâtre; puis il pose un premier rang de carreaux suivant le cordeau AB; une règle en chêne, de $0^m,12$ sur $0^m,03$ d'équarrissage et de $1^m,20$ de long, qu'on nomme *batte à carreler*, avec le plat de laquelle on frappe sur les carreaux, sert à les bien amener au niveau des repères.

Lorsque le rang AB est posé, l'ouvrier continue en procédant par bandes obliques CD, qu'il frappe avec sa batte, qu'il fait glisser sur les carreaux déjà posés, jusqu'à un cordeau EF placé à 1 mètre du premier rang, sur les repères R'.

Lorsque la pièce est carrelée, l'ouvrier fait les raccords le long des murs avec des morceaux de carreaux. Ces morceaux prennent le nom de *pièce* quand ils proviennent, comme ceux de P, de carreaux coupés parallèlement à une de leurs arêtes, et celui de *pointe* P' quand ils proviennent de carreaux coupés perpendiculairement à l'une de leurs arêtes.

Les carreaux des foyers de cheminées sont ordinairement carrés ; on les raccorde avec le carrelage de la pièce par un joint droit, qui se trouve dans l'alignement du devant des jambages.

Pour le rez-de-chaussée on pose aussi les carreaux sur du mortier de chaux et sable. Pour bâtiments ruraux on pose souvent les carreaux sur une couche de mortier de terre franche.

Par mètre carré, en faisant usage des carreaux hexagonaux de $0^m,16$, il faut :

40 carreaux ;
$0^{mc},0125$ de plâtre (un demi-sac) ;
$0^h,62$ d'un compagnon avec son garçon.

Le temps $0^h,62$ s'applique aux pièces ordinaires ; il est de $0^h,75$ environ, lorsqu'il y a de nombreux raccordements à faire pour foyers, cloisons, embrasures, etc. ; pour des pièces d'une grande étendue, il n'est parfois que de $0^h,50$.

CHAPITRE X

CHARPENTE, MENUISERIE, PLANCHERS, PAVAGES, COMBLES ESCALIERS, ETC. [1]

Bois. -- Le *chêne* est le meilleur bois de construction, c'est le plus pesant et le plus dur, celui qui résiste le mieux aux alternatives d'humidité et de sécheresse, et qui se conserve le mieux

[1] Consulter : E. Aldebert et E. Aucamus, *Charpente et Couverture*, 1896.

dans l'eau et dans la terre. Le chêne pèse de 645 à 860 kilogr. le mètre cube.

Le bois français ou bois du pays (chêne du Bourbonnais, gris pâle) ne doit être employé que pour ouvrages grossiers. On doit le proscrire dans les panneaux qui se fendraient ou se *coffineraient*, c'est-à-dire se gauchiraient.

Le chêne de Champagne (jaunâtre), plus tendre et moins noueux, peut être employé pour panneaux lorsqu'il est bien sec, et après qu'il aura été refendu, pour planchers ou *voliges*, après exposition à l'air.

Le chêne tendre de Lorraine et des Vosges est presque sans nœuds, ni galles (jaune clair avec taches rouges) ; il s'emploie pour panneaux et ouvrages sculptés, jamais pour pièces d'assemblage, étant très gras. Le chêne de Hongrie est bon aussi pour la menuiserie.

Le chêne de Fontainebleau est excellent pour assemblages et pour moulures, mais il est sujet à être piqué par les vers.

Le chêne du Nord (Russie) est le meilleur ; il est dur, sans nœuds, ni gerçures, jaune tirant sur le gris, propre aux assemblages comme aux panneaux.

Le chêne *rouvre* de Bourgogne est plus foncé, ses fibres sont moins élastiques et moins résistantes.

Le *sapin* se détruit plus vite que le chêne. Son poids est très variable et oscille entre 464 kilogr. et 753 kilogr. le mètre cube.

Le sapin de l'Auvergne et des Vosges est de peu de durée, étant attaquable par les vers ; on ne l'emploie qu'aux légers ouvrages, cloisons, petites portes. On le garantit par la peinture à l'huile.

Le sapin du Nord (Suède, Norvège et Russie) ou sapin rouge est presque aussi solide que le chêne, et sa couleur est plus belle. On l'emploie sans secours de peinture, en le recouvrant d'une simple couche d'huile ou de vernis. Il pèse moins que le chêne. Sa durée est considérable. On l'emploie pour planchers et combles. Il ne faut pas l'exposer à de violentes variations d'humidité et de sécheresse.

Le *sapin de bateaux*, employé en menuiserie, provient du déchirage des bateaux. On en tire des plats-bords, des chevrons de $0^m,088$ de large et de $0^m,054$ à $0^m,067$ d'épaisseur.

Le *noyer* est un des meilleurs bois d'Europe ; on l'emploie pour lambris et meubles. On en fait des assemblages pour portes avec panneaux en sapin du Nord, recouverts d'huile ou de vernis ; il pèse 600 à 745 kilogr. le mètre cube.

Le *châtaignier*, propre à la menuiserie, résiste moins que le chêne ; il pèse 685 kilogr. le mètre cube ; on en fait des lattes, échalas, merrains, etc.

L'*orme*, peu usité, se tourmente ; on ne s'en sert guère que

pour les pièces cintrées ; il pèse de 745 à 945 kilogr. le mètre cube.

Le *hêtre* ne doit être employé pour les grosses charpentes qu'à défaut d'autres bois, car il a peu de durée. Il pèse de 715 à 885 kilogr. le mètre cube et sert surtout en ébénisterie et en menuiserie. Il se travaille au tour. Il est d'un brun clair veiné.

Le *pitchpin* d'Amérique se répand de plus en plus en Europe ; il présente peu de défauts et se travaille bien. Son prix en restreint l'emploi aux travaux de menuiserie et aux pilotis.

Propriétés générales des bois. — La plupart des bois d'Europe, séchés à l'air, ont une densité de 0,6 à 0,8.

Le bois qui reste constamment dans l'eau se durcit ; mais ce qui est le plus préjudiciable au bois, ce sont les alternatives rapprochées d'humidité et de sécheresse.

Pour éviter les vers, il faut écorcer les arbres avant de les abattre et n'employer que le cœur. Tout bois séché à 100 et 125° n'est que très rarement attaqué par les vers.

On vend, sous le nom de *carbonyle*, une huile dont on enduit les bois pour les conserver et les garantir contre l'humidité et la pourriture ; elle les durcit.

Dans les pans de bois extérieurs il faut poser les bois équarris de façon que le cœur du bois, dans les poteaux corniers ou d'angle, se trouve à l'intérieur, en équerre. Pour les poteaux intermédiaires on posera le bois de façon à ce que la courbure puisse avoir lieu dans la longueur du pan de bois.

Dans les poteaux, ou colonnes isolées, il faut mettre le cœur au centre.

Il est préférable d'employer des planches ayant le cœur du bois sur une face, plutôt que de se servir de planches ayant le cœur au centre ; il faut les contrarier en les posant.

Dimensions des bois équarris du commerce.

CHÊNE

Longueur, 3 mètres et au dessus :

Battants.....	0m,108 × 0m,330	Gros battants...	0m,110 × 0m,320
Petits battants..	0 ,075 × 0 ,230		

Longueurs, 2 à 4 mètres :

Membrures.....	0m,081 × 0m,160	Feuillet.....	0m,022 × 0m,240
Chevrons.....	0 ,081 × 0 ,081	—	0 ,013 × 0 ,240
Doublettes.....	0 ,055 × 0 ,330	Panneau.....	0 ,216 × 0 ,020
—	0 ,035 × 0 ,240	—	0 ,243 × 0 ,013
Echantillons....	0 ,055 × 0 ,240	Volige.....	0 ,216 × 0 ,013
Entrevous.....	0 ,027 × 0 ,330	—	0 ,243 × 0 ,015
—	0 ,035 × 0 ,330		

SAPIN DU NORD

La longueur des bois varie de 0m,33 en 0m,33 à partir de 2 mètres.

Madriers blancs et rouges	0m,08 × 0m,22
Madrier pour gitages (3m,90 à 7 mètres de longueur) 0m,17 ou 0m,18 ou 0m,20 ou 0m,23 ×	0 ,07 ou 0 ,08
Poutres	0 ,30 × 0 ,40
—	0 ,24 × 0 ,30
— de Riga rouge ou blanc (7 à 12 m. de long.)	0 ,35 × 0 ,30
Poutrelles ou solives	0 ,14 × 0 ,20
Feuillet dit 5 traits	0 ,01 × 0 ,22
— 4 —	0 ,014 × 0 ,22
— 3 —	0 ,018 × 0 ,22
Planche dite 2 —	0 ,027 × 0 ,22
— 1 —	0 ,034 × 0 ,22
— 1 —	0 ,041 × 0 ,22
— 1 —	0 ,054 × 0 ,22
Chevron, 2 traits bas	0 ,08 × 0 ,08
Planches 5/4	0 ,034 × 0 ,22
Bastaing	0 ,065 × 0 ,17

SAPIN DE LORRAINE

Longueurs, 3m,63 *à* 3m,96 :

Madrier	0m,075 × 0m,22
—	0 ,054 × 0 ,32
Planche	0 ,027 × 0 ,32
—	0 ,034 × 0 ,32

PARQUETS

CHÊNE

Frises	0m,06 × 0m,08
Chêne dit de Hollande	0 ,06 × 0 ,08
— —	0 ,09 × 0 ,11
Frises de 0m,027 largeur	0 ,06 × 0 ,08

PITCHPIN

Frises	0m,029 toutes largeurs
—	0 ,08 à 0m,011
—	0 ,025 d'épaisseur

Bois de pitchpin pour menuiserie

De 10 à 20 mètres de longueur en poutres ;
De 0m,26 à 0m,56 d'équarrissage ou en plateaux ;
De 0m,10 à 0m,12 d'épaisseur et de 0m,26 à 0m,56 de largeur. Madrier de 0m,08 × 0m,22.

BOIS BLANC, PEUPLIER OU GRISARD

	Epaisseur	Largeur
Feuillet	0m,013 sur	0m,19 à 0m,25
Voliges Champagne	0 ,013	0 ,16 0 ,25
Voliges Bourgogne	0 ,023	0 ,22 0 ,25
Planches	0 ,030	0 ,22 0 ,25
Quartelots	0 ,060	0 ,22 0 ,25

ÉQUARRISSAGES COURANTS

	Epaisseurs	Largeurs	Longueurs
Planches.....	0m,027	0m,31 à 0m,32	3m,63 à 3m,96
—	0 ,030	*id.*	*id.*
Madriers.....	0 ,054	*id.*	*id.*

Il faut 1 mètre cube 2/3 de bois en grume pour fournir 1 mètre cube de bois équarri avec tolérance d'aubier aux arêtes, et 2 mètres 1/2 pour obtenir 1 mètre cube de bois équarri à vives arêtes, c'est-à-dire franc d'aubier.

Pour le chêne, il faut à peu près 1 m³ 1/2 de bois avec écorce pour 1 mètre de bois vif, l'épaisseur de l'aubier étant le cinquième du rayon.

TYPES DE VOLIGES

	Longueur	Largeur	Epaisseur	Cube
Voliges de Russie et de Prusse.....	3m,60	0m,275	0m,037	0mc,036630
Voliges de Suède.....	4 ,20	0 ,225	0 ,075	0 ,070875
— de Norvège.....	3 ,60	0 ,225	0 ,075	0 ,060750
— de Christiania...	3 ,60	0 ,225	0 ,030	0 ,022275
— de Dram.....	3 ,60	—	0 ,037	—
— de Québec.....	3 ,60	0 ,275	0 ,062	0 ,061380

Prix des bois dans Paris, compris droits d'octroi

BOIS DE CHARPENTE

	Flotté	De pays, non flotté
Chêne neuf (compris transport au chantier) :		
Brindilles.....	70 fr.	46 fr.
Ordinaires jusqu'à 27 × 30.....	75 »	55 »
Petit arrimage de 30 à 33 × 36.....	80 »	65 »
Moyen — de 36 à 39 × 42.....	90 »	80 »
Gros — de 43 à 48 × 48.....	100 »	95 »
Gros — de 51 et au dessus.....	110 à 140 fr.	
Chêne vieux de démolition.....	45 à 56 fr.	
Sapin du Nord (hors Paris sur wagon sans transport) :		
Poutrelles de 0,14 à 0,22.....	50 fr.	
Ordinaires jusqu'à 0,30.....	65 »	
Poutres jusqu'à 0,40.....	85 »	
Madriers pour charpente, le mètre....	0 90	
Sapin des Vosges et du Jura (compris transport au chantier) :	A l'équerre	A la ficelle et au 1/4
Petit 0,27 × 0,27.....	57 fr. 50	70 fr.
Moyen 0,27 × 0,30 à 0m,36 × 0m,36....	62 50	75 »
Gros 0,37 × 0,39 et au dessus.....	72 50	80 à 85
Pitchpin (non compris transport) :		
De 6 à 20 mètres de longueur depuis 0,26 × 0,26 jusqu'à 0.56 × 0,56.....	90 fr.	
Transport (du chantier marchand au chantier de l'entrepreneur) :		
Le stère, par voiture ou fardier.....	5 fr.	
Transport de sapin du Havre par wagon, les 1.000 kilogr.....	8 fr.	

BOIS DE SCIAGE

Chêne de Champagne (flotté) :	Prix du mètre linéaire
Entrevous [1]	1 fr. 35 à 0 fr. 90
Echantillons [1]	1 75 à 1 13
Membrure [1]	1 75 à 1 17
Doublette [1]	3 40 à 2 27
Petit battant [1]	3 60 à 2 40
Gros battant [1]	7 20 à 4 80
Chevron [1]	1 20 à 0 80
Au-dessus de 3,75 de longueur en plus.	10 0/0
Lambourde 0,034 ou 0,027 × 0,08	0 fr. 25 et 0 15
Chêne de Hollande :	
En épaisseurs de 0,027, 0,034, 0,040 et 0,054. Réduit à l'unité de 0,027×0,024.	1 70
En épaisseurs de 0,065, 0,08, 0,11, 0,13 et au dessus. Le stère	320 fr.
Chêne de quartier (non flotté) :	Prix du mètre superficiel
Feuillets 0,008, 0,010, 0,012, 0,014, 0,016, 0,020	2 fr. 50 à 6 fr.
Planches 0,027, 0,035, 0,040, 0,054	7 » à 15
Plateaux de 0,065 d'épaisseur et au dessus, le stère	320 »
Hêtre sur quartier :	
Réduit à l'unité de 0,027 × 0,24, le mètre linéaire	0 fr. 95
Planches 0,027, 0,035, 0,054, le m. carré.	4 »
Plateaux, le stère	150 »
Sapin du Nord :	Prix du mètre linéaire
Madrier rouge ou blanc	2 fr. 10 à 1 fr. 20
Planche [1]	0 70
Bastaing [1]	0 80 à 0 60
Sapin de Lorraine :	
Madrier [1]	1 10 à 0 90
Planche [1]	1 » à 0 70
Chons pour remplissage	0 25
Bois blanc, peuplier ou grisard, les 104 mètres :	
Feuillet [1]	30 » à 16 »
Voliges Champagne [1]	36 » à 17 »
Voliges Bourgogne [1], [2]	50 » à 28 »
Planches [1]	70 » à 40 »
Quartelots [1]	125 » à 65 »
Sapin de bateaux : Planches	2 50 à 2 75

[1] Les dimensions courantes correspondantes de ces divers bois équarris sont données pages ci-avant.

[2] Le voligeage jointif de peuplier, 0m,013 d'épaisseur, vaut 2 fr. 05 le mètre superficiel.

Pitchpin pour menuiserie :

De 10 à 20 mètres de long en poutres de 0,26 à 0,56 d'équarrissage ou en plateaux de 0,10 à 0,12 d'épaisseur et de 0,26 à 0,56 de large. Le stère..... 100 fr.

Madrier 8 × 22. Le mètre linéaire..... 2 30 à 1 fr. 90

BOIS EN GRUME

Le prix du stère de *chêne* en grume varie de 90 à 200 francs suivant qualités et dimensions, celui du *frêne* est de 95 à 120 francs, de l'*orme* de 80 à 110 francs, du *charme* de 75 à 90 francs, de l'*aune* de 70 à 95 francs, du *sycomore* de 80 à 120 francs, du *grisard* de 70 à 110 francs suivant qualités.

Pans de bois[1]. — Quand la pierre et la brique sont coûteuses, on les remplace par le bois pour les façades sur cours ; les petites ailes, les murs de face sur rue et les murs mitoyens, qui contiennent les cheminées, doivent être en maçonnerie. Le pan de bois laisse plus pénétrer le froid qu'un mur en maçonnerie[2].

La figure 521 représente la disposition généralement adoptée pour un pan de bois. Les vides entre les pièces sont à peu près égaux aux pleins.

a, sablières ; *a'*, sablière de chambrée ; *b*, poteaux corniers, aux angles et à la rencontre de deux pans de bois ; *c*, poteaux d'huisserie ; *l*, linteau[1] ; *a''*, poitrail, linteau d'une grande ouverture, soulage la sablière supérieure.

Les pièces obliques isolées s'appellent *décharges*, si leur inclinaison est, pour leur longueur, plus de 3 fois leur épaisseur, et *guettes*, si elle est moins de 3 fois l'épaisseur. Au-dessus du poitrail il y a 2 guettes et une contre-sablière formant un arc de décharge. Les *guettes e* font un angle de plus de 60° avec les sablières ; on les incline en sens inverse, afin de combattre le relâchement des assemblages dû à la dessiccation des bois. Les *décharges f* sont inclinées sur des sablières de moins de 60° ; elles obvient au relâchement des assemblages, et reportent sur les poteaux d'huisserie le poids des trumeaux. Les guettes et les décharges s'assemblent à *tenons en about* dans les pièces horizontales, c'est-à-dire que les tenons et leurs épaulements sont coupés à peu près en retour d'équerre du côté de l'angle aigu, de manière qu'ils pénètrent à angle droit dans les pièces qui les reçoivent. Ces bois inclinés empêchent les rectangles du grillage de devenir des parallélogrammes.

Pour donner plus de solidité aux trumeaux d'encoignure, on emploie des *croix de Saint-André*, formées par des pièces qui s'assemblent à mi-bois au point où elles se rencontrent, et à tenons en about dans les sablières.

Les *tournisses g* sont des pièces de bois assemblées à tenons triangulaires (appelés à tournisses ou oulices, et dont le bout est coupé carrément) et mortaises dans les sablières et dans les guettes ou décharges.

[1] Voir page 785.

[2] L'ensemble des poteaux d'huisserie et du linteau se nomme l'*huisserie* de la porte ou de la croisée.

Cet assemblage se fait généralement en *fausse coupe* ou joint d'assemblage, qui n'est ni coupé d'équerre, ni en onglet. Quelquefois, on les coupe obliquement, à la demande des guettes ou décharges ; on les arrête avec de grands clous (*dents de loup*), ou des chevillettes.

Les poteaux de remplissage ou *remplage d* sont ceux qui vont d'une sablière à l'autre dans les remplissages des trumeaux. Les *potelets h*

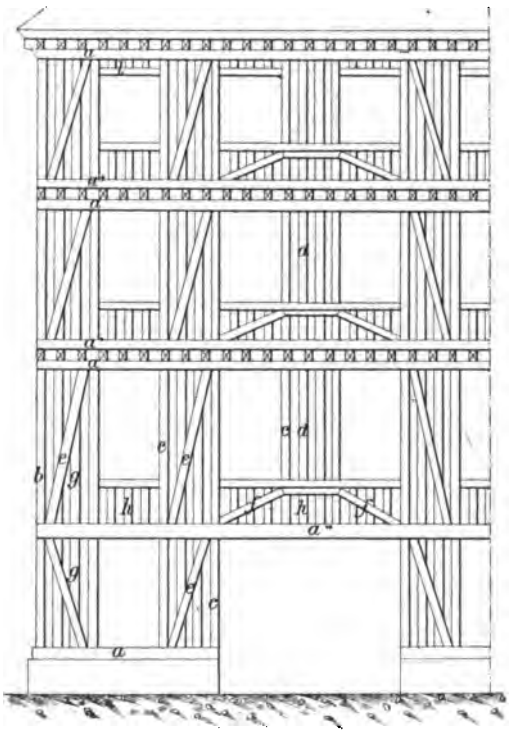


Fig. 521.

sont les petits poteaux au-dessus des linteaux ou au-dessous des appuis. Sur la sablière du milieu de la figure 521, on voit les abouts des solives du plancher. On peut mettre une sablière au-dessus.

Les poteaux, potelets et sablières sont assemblés à tenon et mortaise ; le tenon est entré de force dans la mortaise.

On doit éviter le *porte-à-faux*, c'est-à-dire de placer des pans de bois (trumeaux) ayant du vide au-dessous et ne portant que par leurs extrémités.

Les cloisons en décharge (*fig.* 524), c'est-à-dire suspendues sur vide ou en *porte-à-faux* (qu'on ne doit établir que pour de faibles

étendues, mais qui sont forcées pour les bâtiments dans lesquels il faut faire des distributions qui n'existent pas au rez-de-chaussée) sont faites sur des solives supplémentaires, et le poids de la cloison est en partie reporté sur les pans de fond au moyen de décharges. Pour soulager la solive travaillante, on

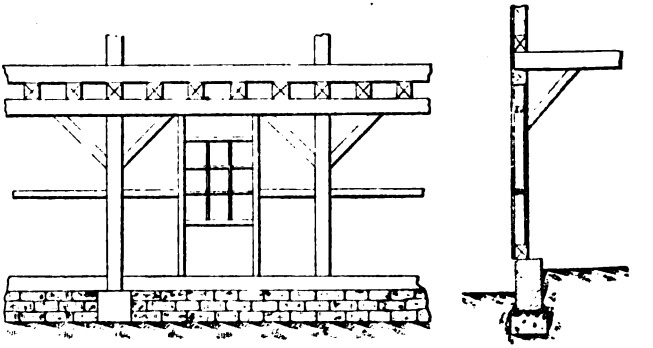


Fig. 522 et 523. — Pans de bois simples.

met quelquefois dans l'intérieur de la cloison des tirants qui embrassent la solive et vont s'attacher sur les décharges.

Les mêmes précautions doivent être prises, lorsqu'un pan de bois doit être posé, non pas en travers sur les solives, mais suivant la longueur d'une seule solive. Dans ce cas, outre les décharges, on fait quelquefois porter le pan de bois sur 3 solives,

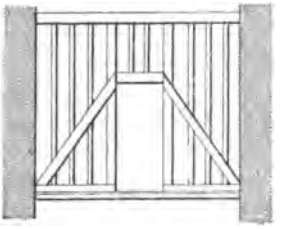


Fig. 524.

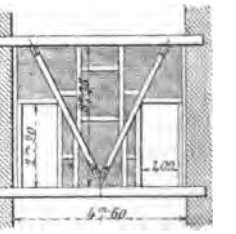


Fig. 525.

posées sous la sablière *de chambrée*, par des barres de fer unissant les deux solives les plus rapprochées avec celle qui est particulièrement chargée du pan de bois.

Lorsqu'il faut ménager une porte à chaque extrémité, la partie supérieure peut former une poutre armée qui supporte l'ensemble du pan de bois.

Dans la figure 525, une partie de la charge supportée par la plate-

bande inférieure est reportée par les décharges aux appuis supérieurs.

Quand l'espace où l'on veut établir un porte-à-faux est étendu, on emploie 2 poteaux (*fig.* 526) flottants ou suspendus, et l'on place leur faux linteau entre eux ; les poteaux sont soutenus en partie par des décharges. Les poteaux d'huisserie s'assemblent dans le faux linteau et sont soutenus par des décharges reposant sur une seconde sablière. Les poteaux d'huisserie reposent sur la principale sablière et s'assemblent à tenons et mortaises avec les 2 bouts de la seconde sablière. La sablière est consolidée avec les poteaux verticaux par 2 morceaux de fer plat fixés sur les poteaux et dont l'extrémité inférieure, à vis et à écrou, maintient un morceau de fer transversal qui soulage la solive.

Quand un pan de bois est en porte-à-faux et doit traverser deux

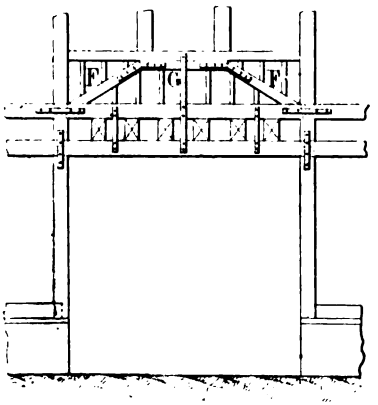


Fig. 526.

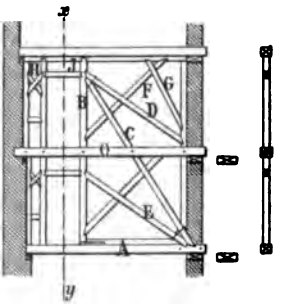


Fig. 527.

étages, D. Ramée conseille (*fig.* 527) de poser la décharge C de l'extrémité de la poutre A au niveau du linteau d'huisserie J et au poteau d'huisserie B, du 2e étage. De la même extrémité, on conduit la décharge E au linteau du bas. Les pieds de ces 2 décharges sont assujettis au moyen d'un coin et d'un boulon à écrou. Au 2e étage on place la décharge D, dirigée obliquement du pied du poteau d'angle au linteau d'huisserie J, et fixée en position inverse, comme le pied des décharges E et C. Les pièces de charpente de ce porte-à-faux sont moisées au moyen de 2 solives O boulonnées et qui forment un ensemble solide. La sablière supérieure I est soutenue par la décharge G, en sorte qu'au moyen de la pièce oblique F, le poteau d'huisserie E est étayé. Enfin l'écartement des pièces obliques et verticales est maintenu par les moises O.

Un pan de bois de 3 étages, hourdé plein et ravalé sur les 2 faces, d'une épaisseur de 0m,216, a une stabilité (poids multiplié par la demi-épaisseur) égale au 1/7 de celle d'un même mur de face en moellons ou en briques, qui devrait avoir 0m,43 d'épaisseur.

Ce n'est qu'en reliant les pans de bois aux murs mitoyens, aux pans de bois transversaux et aux planchers, à l'aide de tenons ou harpons en fer, qu'on leur donne une stabilité convenable.

Un *poitrail* de devanture de boutique ou de porte cochère doit, lorsqu'il supporte un pan de bois, avoir une dimension verticale égale au 1/12 de la largeur de l'ouverture qu'il couronne.

Lorsque les cloisons intérieures portent planchers, les poteaux d'aplomb doivent avoir une épaisseur égale au 1/12 de leur hauteur. Les décharges et les sablières ont une longueur et une épaisseur plus fortes de 0m,027.

Pour les cloisons de simple séparation, les dimensions sont moitié; afin de les rendre plus légères, on peut les laisser creuses ; on pose un enduit sur les lattes clouées sur les poteaux. Afin de diminuer les chances de flexion de ces poteaux, on les réunit par des liernes horizontales.

Le tableau suivant donne, d'après le colonel Emy, les grosseurs, au rez-de-chaussée, des pièces des pans de bois de 3m,25 à 3m,90 sous planchers, pour les bâtisses de 3 étages. Les pans de bois se montent d'aplomb à l'intérieur ; à l'extérieur, ils ont un fruit de quelques millimètres par étage, ce qui diminue l'équarrissage des parties supérieures :

Pans de bois dans les façades (de 3m,90). Epaisseur....		0m,217	à 0m,244
Poteaux-corniers et poteaux de fonds. Equarrissage.		0 ,244	0 ,271
Poteaux d'étrière.....		0 ,217	0 ,244
Sablières hautes et basses.....		0 ,217	0 ,244
Poteaux d'huisserie.....		0 ,189	0 ,217
Poteaux de remplage.....		0 ,162	0 ,217
Ecartement des poteaux de remplage.....		0 ,271	0 ,225
Guettes, décharges, croix de Saint-André.....		0 ,162	0 ,217
Tournisses et potelets.....		0 ,135	0 ,217
Pans de bois intérieurs ou cloisons	de 3m,90..... Epaisseur.	»	0 ,162
	au-dessus de 3m,90.....	»	0 ,189
Poteaux	portant plancher..... Equarrissage.	0 ,135	0 ,162
	ne portant pas plancher.....	0 ,108	0 ,135
Cloisons de refend ou en porte-à-faux.....		0 ,081	0 ,135

Pour garantir le bois de l'humidité, on ne doit jamais établir les pans de bois au rez-de-chaussée sur le sol, mais sur des soubassements en moellons, en pierre de taille, formant parpaing ou en briques s'élevant à 0m,60 au-dessus du sol.

La sablière basse qui passe au rez-de-chaussée directement sur le socle en maçonnerie doit être disposée, si elle est en chêne, de façon que le cœur du bois soit du côté posant sur le socle.

Une fois la charpente d'un pan de bois établie, on procède au *remplissage*. Pour cela, on cloue sur champ, sur l'une de ses faces, des lattes éloignées de $0^m,06$ à $0^m,11$; on garnit l'intervalle entre les poteaux de petits moellons, de briques, de terre glaise ou mieux de plâtras hourdés grossièrement avec du plâtre (*fig.* 528), et l'on place un lattis du côté où le *hourdis* a été fait, comme sur l'autre face. Pour les cloisons légères, on hourde seulement avec du plâtre. Un mètre carré de cloison demande pour remplissage 35 briques ordinaires et $0^{m3},025$ de mortier ; pour revêtir les pans en briques, il faut par mètre carré 75 briques et $0^{m3},025$ de mortier.

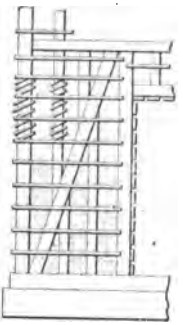


Fig. 528.

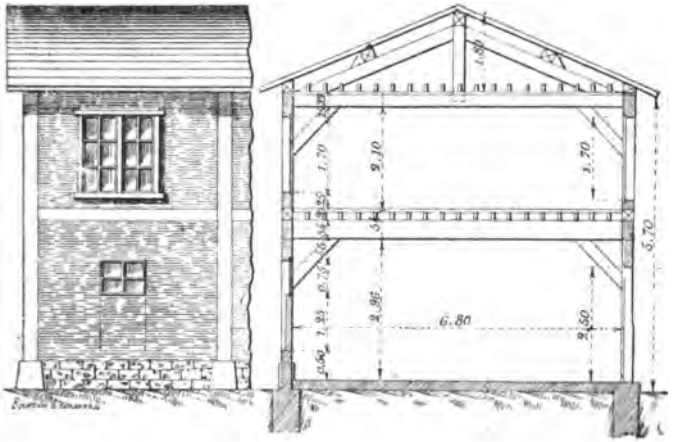


Fig. 529 et 530. — Pan de bois avec remplissage en briques.

Après avoir nettoyé la poussière et arrosé le hourdis, on procède au *gobetage*, puis on applique le *crépi*.

Clôtures en bois. — La figure 531 représente une clôture de propriété de $1^m,10$ à $1^m,50$ de hauteur en lattes de châtaignier maintenues à des distances régulières par des pointes ou du fil de fer.

De distance en distance, on enfonce des pieux ronds de 0m,10 de diamètre pour maintenir la clôture verticale. Les pieux sont

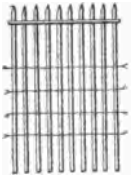


Fig. 531.

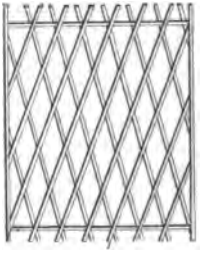


Fig. 532.

Fig. 533.

espacés de 1 mètre à 1m,50. Des ligatures en fer maintiennent les lattes contre les poteaux (*fig.* 533).

Les clôtures de 2 à 3 mètres de hauteur doivent être consolidées par des contre-fiches inclinées.

On fait des cloisons creuses, quand on supprime le hourdis

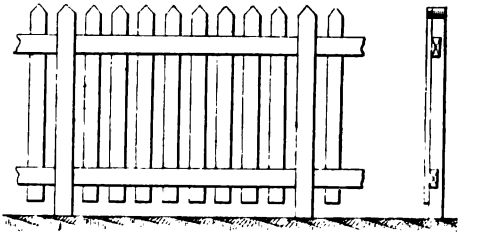


Fig. 534. — Clôture.

entre les pièces de bois (comme pour les cloisons en porte-à-faux) ; dans ce cas, le lattis doit être jointif, et l'on applique successivement dessus le gobetage, le crépi et l'enduit.

Cloisons. — Les cloisons sont des séparations plus légères que les pans de bois.

Il faut 2 heures d'un maçon avec son garçon pour exécuter 1 mètre carré de cloison légère.

Les cloisons pour distributions d'appartements se composent de traverses (en haut et en bas, clouées au plafond et fixées au plancher; au milieu, on place des entretoises), de poteaux d'huisseries de 0m,08, carrés, en chêne, dressés et corroyés avec une feuillure au droit des ouvertures de portes et une double nervure du côté opposé pour recevoir le bout de la latte.

Quand l'appartement est important, on met 2 rangs d'entretoises; on les fait en sapin recouvert de toile sur laquelle on colle du papier.

Une cloison légère en *carreaux de plâtre*, de 0m,008 d'épaisseur, enduite et ravalée des 2 côtés, avec hourdis plein lattis, vaut 4 francs le mètre superficiel.

Prix des hourdis pour cloisons

Hourdis plein, pour cloison en plâtre et plâtras fournis de 0m,08 d'épaisseur, le mètre superficiel.....	0 fr. 33
Hourdis pour pan de bois de 0m,16 à 0m,20, le mètre superficiel.	0 45
Hourdis en plâtre et plâtras fournis de 0m,12 d'épaisseur sur planchers et voûtes en bois et en fers, le mètre sup.	0 fr. 55 à 0 60

Murs en bois à double paroi. — Les murs des maisons américaines en bois sont à double paroi, l'une à l'intérieur, l'autre à l'extérieur de la charpente. Cette dernière est faite de madriers de section rectangulaire allongée. La paroi extérieure se compose de 2 épaisseurs : l'une en simples planches, l'autre en bastaings assemblés à rainures et languettes. Les joints sont horizontaux; on évite qu'ils se correspondent dans les 2 épaisseurs. La paroi intérieure est un lattis à claire-voie cloué contre les pièces verticales de la charpente; sur ce lattis, on applique une épaisse couche de mortier qui pénètre entre les lattes et qui forme le parement intérieur du mur. Les pièces de charpente mesurent 0m,10 à 0m,15 d'épaisseur; telle est, par conséquent, l'épaisseur de la couche d'air ménagée entre les 2 parois. L'intérieur de la maison est ainsi protégé contre la chaleur ou le froid du dehors mieux que par un mur en maçonnerie. Pour cela, il faut que la couche d'air interceptrice se renouvelle le moins possible; on y arrive en intercalant un revêtement en papier (*fig.* 535) entre les 2 épaisseurs de bois de la paroi extérieure.

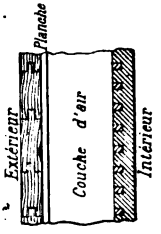


Fig. 535.

Les *papiers* employés sont ceux d'asbeste (amiante), de chanvre et d'huile siccative, de goudron. On se sert aussi de ces papiers dans les toitures et les planchers, pour préserver les plafonds des infiltrations d'eau, pour étouffer le son, etc.

Pans de fer (*fig.* 539). — Les pans de fer sont composés de poteaux entre lesquels on fait un remplissage en briques. On rend quelquefois la maçonnerie de pierre indépendante des planchers supportant de grandes charges, par des poteaux placés au droit des piliers de maçonnerie.

« Les pans de fer, dit M. Liger, vu leur peu d'épaisseur, exigent peu d'espace et donnent leur maximum de solidité sans le secours du hourdis, qui n'a d'autre effet que de clore. »

Le poteau peut être formé d'un fer tubulaire *Zorès* ou de 2 fers à double **T** tenus à distance par des cales et boulonnés. Le manchon emboîte à la fois la sablière et le poteau auxquels il se boulonne en tous sens ; il se divise en deux parties placées par des boulons en sens vertical. C'est le manchon qui forme l'assemblage du poteau et des sablières (*fig.* 536 et 537).

Les poteaux en fer ne se placent pas aux tableaux des baies, comme les pans de bois ; on les dispose dans les trumeaux ; ils

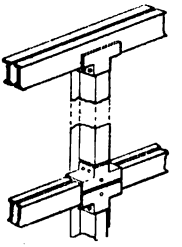


Fig. 536. — Assemblage d'un poteau demi-tubulaire (fers Zorès) avec des solives en fer.

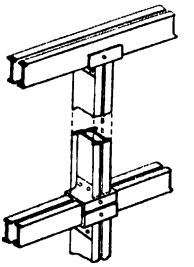


Fig. 537. — Assemblage d'un poteau en fer à **T**.

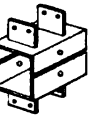


Fig. 538. — Boîte d'assemblage des poteaux en fer à **T**.

ne se placent pas non plus dans les angles, comme les poteaux corniers, mais à quelque distance des angles. Le hourdis se fait en plâtras, briques, carreaux de plâtre, béton comprimé, etc. Dans les constructions ordinaires, les sablières en fer à double **T** de $0^m,12$ sont suffisantes ; les poteaux, placés à environ 2 mètres l'un de l'autre, sont en fer Zorès de 19 kilogr. ou $15^{kg},500$ le mètre, ou en fer à double **T** de $0^m,12$, pesant 21 kilogr. le mètre.

Points d'appuis, supports, poitrails. — *Calcul des poteaux et colonnes* (voir p. 223).

Les *piles* isolées en maçonnerie doivent avoir $0^m,55$ sur toutes les faces ou $0^m,50$ sur l'une et $0^m,70$ sur l'autre ; ce sont des dimensions minima. Pour déterminer leurs dimensions, on s'assure que la charge ne dépasse pas 1/10 de la charge qui écraserait le pilier.

Le piles sont réunies entre elles par des arcs ou par des poitrails ou filets en bois ou en fer.

La *jambe étrière* est une chaîne ou pile qui forme la tête d'un *mur mitoyen*, et le tableau ou pied-droit d'une baie aux deux côtés de la tête dans le mur de face ; elle peut donc porter 2 poitrails, 2 retombées, 2 plates-bandes ; la queue de la jambe étrière fait parpaing dans le mur mitoyen.

La *jambe boutisse* est celle dont la tête fait liaison de chaque

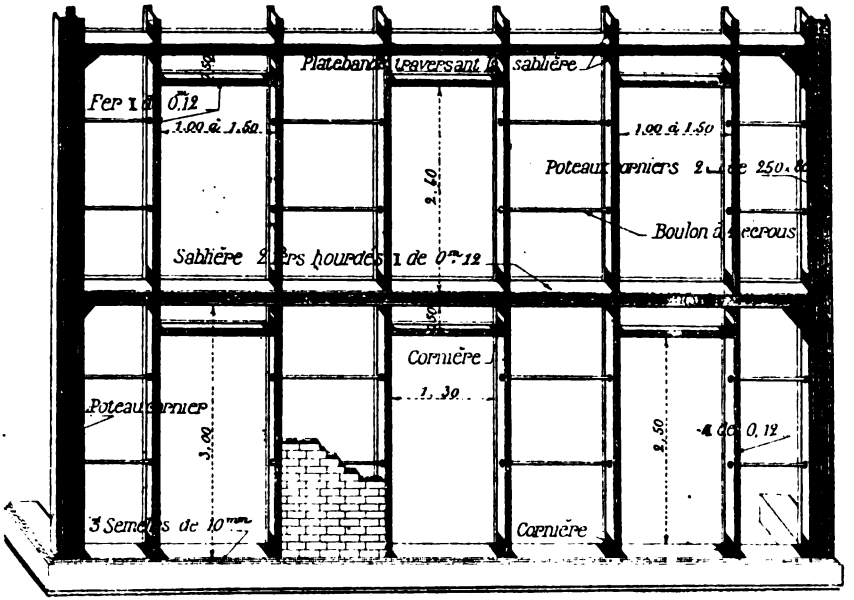


Fig. 539. — Pan de fer, système Grand.

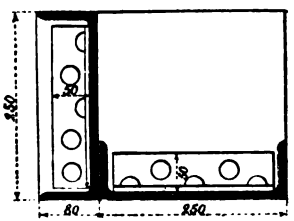


Fig. 540. — Pilier d'angle de pan de fer.

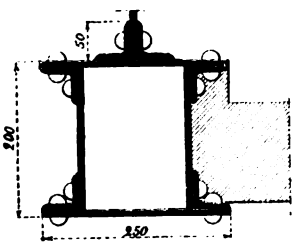


Fig. 541. — Pilier d'angle de pan de fer (poutre tubulaire).

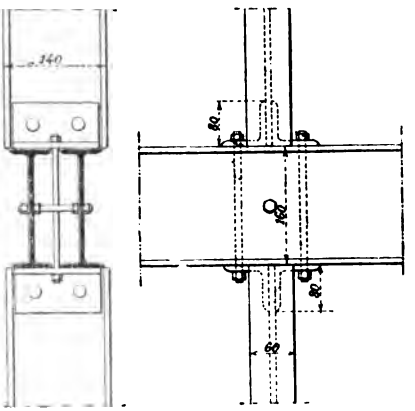


Fig. 542. — Assemblage du poteau montant d'un pan de fer sur sablière horizontale.

côté dans les murs de face de deux maisons attenantes, et dont la queue fait liaison dans le mur mitoyen. Une jambe peut être étrière pour l'un des voisins et boutisse pour l'autre.

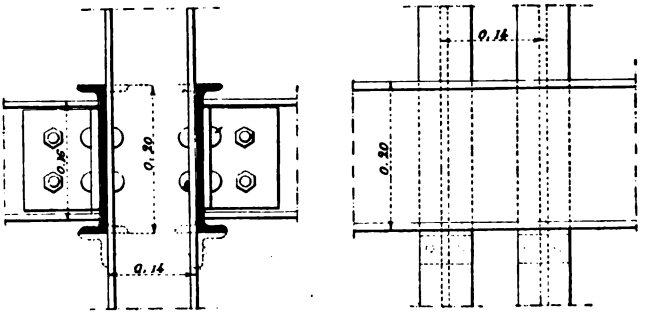


Fig. 543. — Poteaux et traverses de pan de fer se traversant.

Les jambes et les chaînes de pierre (*fig.* 545 et 546) se montent sous l'empatement du dessus de la fondation du rez-de-chaus-

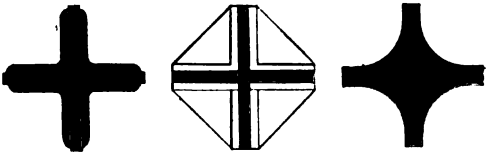


Fig. 544. — Bielles de sections cruciformes.

sée, au-dessus du libage, quand cette fondation en comporte. La jambe étrière doit s'élever jusque sous les poitrails ou les

Fig. 545. — Jambe étrière et boutisse.

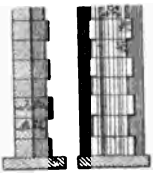


Fig. 546. — Jambe boutisse.

premiers planchers formant plafond du rez-de-chaussée; au-dessus, une simple boutisse suffit. Les jambes étrières doivent être faites de grands quartiers de pierre dure. Chaque assise

doit être d'un seul morceau; elles sont liaisonnées les unes aux autres par leurs queues dans le corps du mur mitoyen ou séparatif; les plus courtes doivent avoir $0^m,98$ de long, les plus longues $1^m,48$ à compter du parement de leurs têtes; quant à la largeur de ces assises sur la façade, elle doit être égale à l'épaisseur du mur mitoyen ou séparatif, augmentée de $0^m,12$ au moins pour chaque pied-droit (*fig.* 545). Les assises des jambes boutisses mesurent, à partir du parement de face jusqu'à l'extrémité de leur queue, les longues 1 mètre, les courtes $0^m,85$; il n'est pas nécessaire que toutes les assises alternent régulièrement pour jeter harpe dans le mur, il suffit qu'entre trois assises une seule remplisse ce dernier office; les chaînes en fer que l'on pose à chaque étage suffisent pour retenir les jambes boutisses et les empêcher de déverser. Quant aux harpes dans les murs de face, elles doivent alterner régulièrement et avoir au moins $0^m,15$ de saillie pour les courtes et $0^m,30$ pour les longues.

Les jambes sous poutres, par assises de pierres de taille, se mettent ou en construisant le mur mitoyen, ou après le mur construit. Lorsque l'on met les jambes de pierre de taille en construisant, le voisin à qui elles ne servent pas ne contribue pour les jambes de pierre que pour celles restant au mur, c'est-à-dire que, si tout le mur est construit en moellons, il contribue seulement pour un mur de moellons; et l'autre voisin, qui doit se servir des jambes de pierre pour porter les poutres de sa maison, payera seul la valeur de la pierre de taille; mais, lorsque l'un des voisins veut mettre et asseoir les poutres de sa maison dans un mur mitoyen déjà construit, il doit seul payer la plus-value des jambes sous poutres qui restent à payer en entier, et, en outre, les percements et rétablissement du mur mitoyen pour y mettre lesdites jambes et faire à ses dépens les étaiements et rétablissements nécessaires chez son voisin (*Coutume de Paris*, art. 207, commentaire 10).

Lorsque les murs mitoyens ont peu d'épaisseur et qu'ils sont aptes à supporter des poutres de grande portée, on fortifie les jambes sous poutres par des dosserets faisant une saillie minimum de $0^m,12$ sur le mur mitoyen. Cette saillie se prend du côté de celui à qui appartiennent les jambes sous poutres; si elles appartiennent aux deux voisins, cette saillie se prend sur le terrain des deux immeubles. Ces dosserets peuvent être en briques; on n'est obligé de placer de la pierre dure que sous la portée ou about des poutres et poitrails. Dans les constructions de peu de hauteur, de simples corbeaux peuvent suffire pour porter des poutres; mais ceux-ci doivent être passés à travers le mur et faire parpaing.

La *saillie* sur l'alignement est de $0^m,03$, $0^m,04$ ou $0^m,05$, suivant que les rues où elles sont établies ont une largeur de 10 mètres, 12 mètres au plus.

Le *socle* a $0^m,80$, 1 mètre, $1^m,15$ pour les rues de 10 mètres, et

plus. L'assise placée au-dessus du socle a au minimum 0m,55 de haut, et les suivantes 0m,40.

Les jambes boutisses peuvent être appareillées en besace,

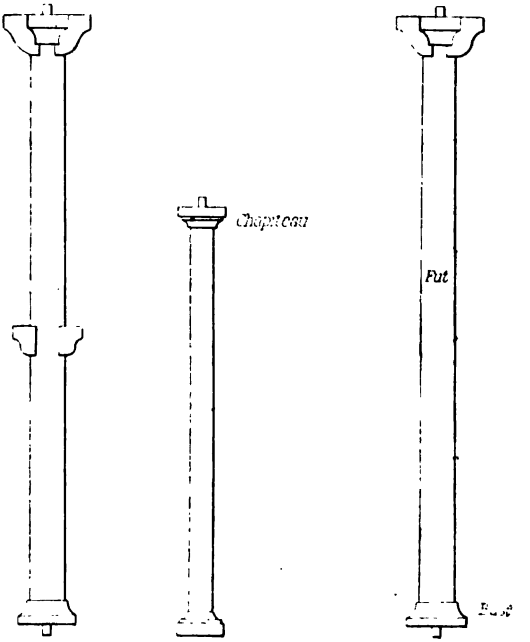


Fig. 547 à 549.

c'est-à-dire par assises ayant alternativement l'épaisseur du mur mitoyen et celle du mur de face.

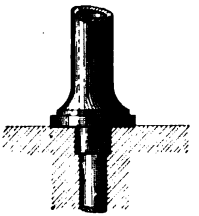


Fig. 550.

Les piles peuvent être remplacées par des piliers ou *colonnes en fonte* à section circulaire, quelquefois *en fer* (*fig.* 547 à 549). Elles sont réunies par des poitrails en fer et ont souvent des nervures latérales pour maintenir la maçonnerie. Ces colonnes seront pleines ou creuses et se calculeront d'après les formules données à la *Résistance des matériaux* (p. 244). Les colonnes creuses (*fig.* 550 à 552) peuvent servir à l'écoulement des eaux quand elles supportent des combles. Les colonnes sont souvent terminées en bas par de fortes *embases* (*fig.* 550), destinées non seulement à répartir la pression sur le dé de pierre où elles sont posées, mais encore à augmenter leur stabilité. Leur pied est

arrêté soit par un *téton* ou goujon fixé dans un trou fait à la pierre de fondation, soit par un prolongement de la colonne au-dessous de l'embase. Les colonnes sont, d'autres fois, fixées par des boulons.

Pour assurer à la colonne une portée parfaite sur sa fondation, on cale la colonne à hauteur, et l'on coule du ciment sous sa

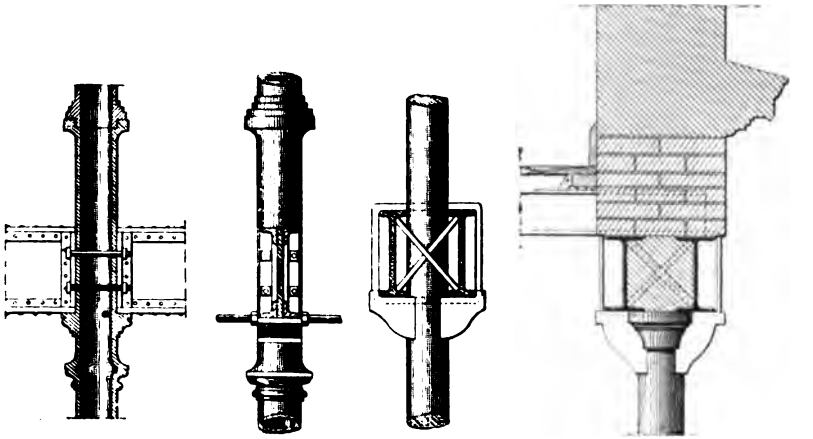


Fig. 551 à 554.

base (simple cordon venu de fonte) avec une légère saillie au milieu ; ce procédé est insuffisant pour de fortes charges. Alors

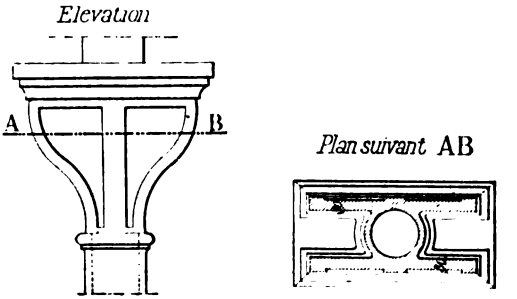


Fig. 555. — Console d'une colonne en fonte.

on scelle une plaque de fondation (*fig.* 562), carrée ou polygonale et on l'ancre dans la maçonnerie par 4 ou 6 tirants aussi profonds que le massif. Cette plaque peut porter à sa partie inférieure des nervures se dirigeant vers les tirants; mais en général

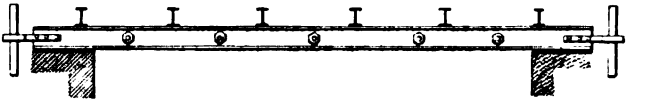


Fig. 556. — Filet ou poutre en fer placée entre 2 murs parallèles soulageant un plancher en diminuant la portée.

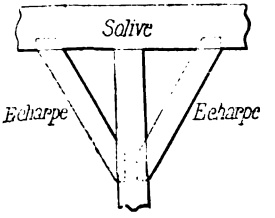


Fig. 557. — Poteau en bois et contre-fiches ou décharges, soulageant une poutre de grande portée.

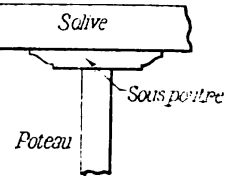


Fig. 558. — Poteau en bois avec sous-poutre soulageant une poutre.

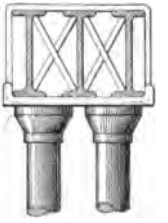


Fig. 559.

Fig. 560.

Fig. 561.

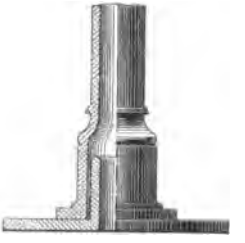


Fig. 562.

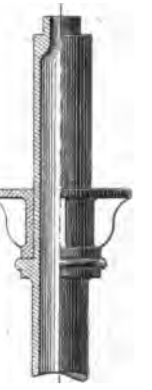


Fig. 563.

cela gêne la pose. Au centre, on fait venir de fonte une douille, saillant de 1 1/2 à 2 fois son diamètre, celui-ci étant un peu plus petit que le diamètre intérieur de la base de la colonne. La colonne est fondue avec un renflement à la base, qui emboîte la douille de la plaque, et entre les deux pièces, une fois la pose arrêtée, on coule du ciment par un petit trou ménagé dans la colonne.

Proportions admises comme correspondantes :

Epaisseur.	Hauteur.	Diamètre extérieur.
15 millimètres	3 à 4 mètres	100 millimètres
20 —	4 à 6 —	110 à 130 —
25 —	6 à 8 —	150 à 250 —
30 —	8 à 10 —	300 à 350 —

Le haut des colonnes est un chapiteau (*fig.* 547 à 549, 551, 553, 554 et 559), orné ou non, mais présentant les surfaces d'appuis nécessaires, soit des consoles, pour recevoir les poutres, soit des épaulements, quand une autre colonne doit se enter dessus. Il faut donner aux chapiteaux des formes d'égale résistance, appropriées aux charges.

Les colonnes supportant plusieurs planchers doivent monter de fond, depuis la fondation ; les poutres des planchers s'assemblent latéralement, sur des consoles, soit fondues avec la colonne, soit formant une collerette enfilée sur la colonne et reposant sur une embase (*fig.* 563).

Pour les *poitrails en bois*, on refend en deux les pièces de bois qui servent à les former ; on en écarte les 2 parties de $0^m,05$ à $0^m,06$ par des fourrures et on les relie par des boulons. On peut ainsi faire reposer les trumeaux sur le poitrail.

Les figures 551 à 553 et 559 représentent des modes d'assemblage de colonnes avec les *filets* ou *poitrails en fer ;* ceux-ci sont formés de deux ou trois poutres en fer maintenues extérieurement par des brides (*fig.* 559), des agrafes (*fig.* 560) ou des boulons (*fig.* 561) et intérieurement par des croisillons en fer carrés (de $0^m,025$ de côté) forcés entre les tables des poutres voisines. Des *frettes*, fourrures ou liens en fer plat de 60/12 millimètres se placent de mètre en mètre, se posent à chaud et opèrent un fort serrage en se refroidissant. L'intervalle entre les âmes est garni de maçonnerie de briques.

On peut faire fondre la colonne avec une section rectangulaire à l'endroit du passage des poutres, afin de mieux assurer leur position et leur assemblage ; on ménage des portées et des trous pour les boulons qui serrent le tout, et on interpose des cales pour éviter que les boulons ne fassent gondoler l'âme de la poutre.

On doit éviter d'interposer les poutres, en fer ou en bois,

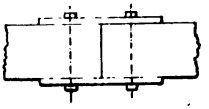


Fig. 564.

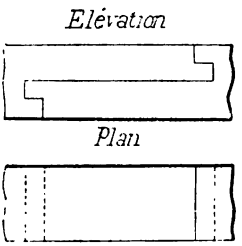


Fig. 565. — Assemblage à mi-bois avec tenon d'about.

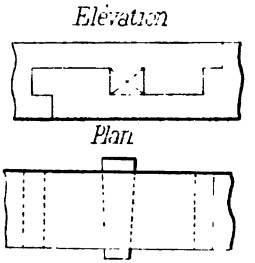


Fig. 566. — Assemblage à mi-bois avec tenon d'about et clef.

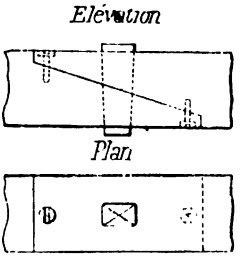


Fig. 567.

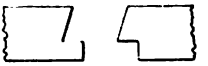


Fig. 568.

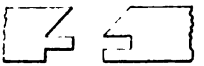


Fig. 569.

Fig. 570.

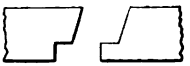


Fig. 571.

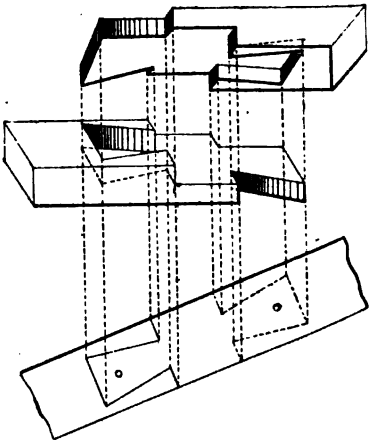


Fig. 572. — Assemblage à double queue d'hironde, à mi-bois.

entre le sommet d'une colonne et la base de celle qui la surmonte, car toute flexion des poutres entraîne une déviation de la colonne et peut la briser; la charge d'écrasement, entre les deux colonnes, est alors supportée par la poutre, qui n'est pas destinée à ces efforts.

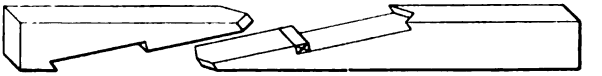
Les supports de bois (*fig.* 557 et 558) sont des *poteaux* portés par des *dés de pierre* et y sont fixés par des *goujons* ou mieux par des *sabots* en fonte, quand, étant isolés, ils ne portent pas sur un soubassement en pierre de taille. Si l'espace entre deux poteaux était grand, on soulagerait la sablière par des *aisselliers* soulageant un *chapeau*, ou par des contre-fiches butant une doublure de la sablière.

Assemblages de bois. — Les assemblages pour allonger s'appellent *entures* ou *assemblages bout à bout :* enture à joint plat (*fig.* 564) ; enture bout à bout à mi-bois (*fig.* 565 et 566) ; enture à fausse coupe et épaulements droits ou obliques avec ou sans clef (*fig.* 567) ; enture à mors d'âne (*fig.* 568) ; enture à chaperon (*fig.* 569) ; enture à paume (*fig.* 570) ; assemblage à paume et à repos (*fig.* 571) ; à queue d'aronde ; à double queue d'aronde ou d'hironde (*fig.* 572) ; enture à trait de Jupiter (*fig.* 573, 574). Ce dernier est le plus solide. Autre système d'enture (*fig.* 575).

Les *assemblages aux points de croisement* sont à tenons, mortaises et chevilles [1]. Le *tenon* a 1/3 de l'épaisseur de la pièce, il est taillé suivant le fil du bois [2]. Les *jouées* de chaque côté du tenon ont la largeur de celui-ci ; assemblage droit à tenon et mortaise simple ou double (*fig.* 576) ; assemblage droit avec tenon et emboîtement de la pièce mortaisée (*fig.* 577) ; assemblage à tenon avec renfort ou chaperon (*fig.* 578) (assemblage de solives sur planchers) ; on surmonte le chaperon (*fig.* 579), afin que la mortaise n'ait pas d'angle aigu ; assemblage oblique à biseau et mortaise, pour faible pression (*fig.* 580) ; assemblage à enfourchement (*fig.* 581) (la mortaise, qui a trois côtés, et le chevron occupent toute la largeur de la pièce) pour abouts de chevrons et ouvrages de menuiserie grossiers ; assemblage à tenon et mortaise à embrèvement (*fig.* 584) ; assemblage à crans avec tenon à mortaise (*fig.* 586) ; détails d'assemblage oblique à enfourchement et embrèvement (*fig.* 581 *bis*) ; assemblages de poutres et solives à entaille ou feuillure à double renfort biais à queue d'aronde (*fig.* 588

[1] Ces *chevilles d'assemblage* sont cylindriques et d'un diamètre égal au quart de l'épaisseur du tenon. Une charpente bien exécutée doit se maintenir sans chevilles. Ces dernières se coupent à fleur des faces des pièces.

[2] Rigoureusement, la mortaise et le tenon devraient être égaux ; mais, comme il peut arriver que le tenon soit un peu plus long et porte seul, on le fait plus court que la mortaise.



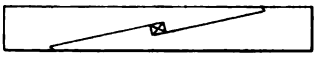


Fig. 573 et 574.

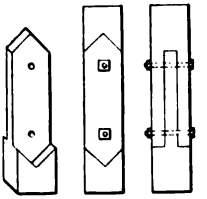


Fig. 575.

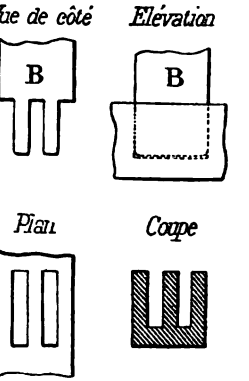


Fig. 576.

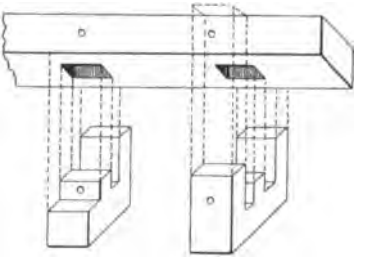


Fig. 577.

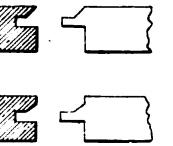


Fig. 578 et 579.

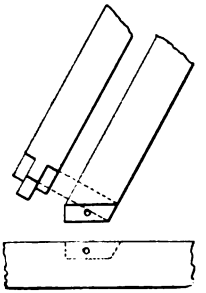


Fig. 580.

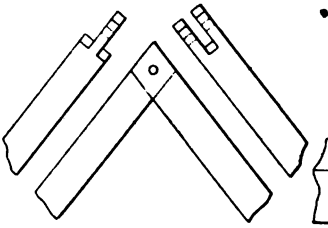


Fig. 581.

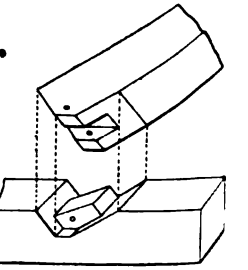


Fig. 581 *bis*.

et 589), C à tenon et renfort biais[1] (*fig.* 590 à 592) ; autre genre d'assemblage à embrèvement solide (*fig.* 593).

Les assemblages d'angle sont celui : à enfourchement (*fig.* 581) ; l'assemblage droit par simple entaille à mi-bois, ou à mi-bois avec tenon et clef (*fig.* 594) ; à entaille à mi-bois, fausse coupe (*fig.* 595) ; droit à queue d'aronde (*fig.* 596 et 597) ;

L'assemblage à *épaulement* comprend un petit espace de bois plein, réservé après une mortaise (*fig.* 601 *bis*).

Assemblage à *onglet* pour unir des pièces ornées de moulures sur les bords (traverses et montants de portes) (*fig.* 598 et 599).

Assemblage à *bois de fil* pour ouvrages apparents soignés ; le tenon est pratiqué dans la même direction que la traverse qu'il limite ; la mortaise est creusée d'équerre sur le montant, mais les arasements et épaulements sont biais ; l'onglet est non seulement coupé sur la moulure, mais encore sur toute la largeur de la traverse, le tenon excepté, de sorte que la ligne d'assemblage coupe en deux l'angle droit formé par la rencontre de 2 pièces jointes (*fig.* 602).

Quand les traverses qu'on assemble au milieu des portes pour séparer les panneaux portent des moulures de 2 côtés, il faut que chacune soit coupée à onglet (*fig.* 603).

Assemblage à *fausse coupe* pour 2 pièces de largeur inégale assemblées à bois de fil (*fig.* 604).

Les figures 605 à 608 indiquent divers assemblages formant angles et employés pour piédestaux, plinthes, réservoirs, etc.

La figure 609 représente l'assemblage de 2 faces d'équerre *a* et *b*, disposées pour dissimuler le joint *c*.

Assemblages dans le cas où les axes ne se rencontrent pas. — Entaille simple (*fig.* 610) ; entaille oblique ; entaille double ou entaille avec endent (*fig.* 611) ; entaille avec une demi-coupe oblique (*fig.* 612) ; entaille droite (*fig.* 613) ; entaille à queue d'aronde (*fig.* 614) ; endenture simple (*fig.* 615 et 616) (comme le croisement d'une panne et d'un chevron ; l'endenture est triangulaire et recouvre l'arête de la panne) ; on ajoute quelquefois un tenon dans l'endenture (*fig.* 617).

Assemblages pour le renforcement de la section des bois et armatures. — Les bois de grandes dimensions étant rares, on y supplée, lorsqu'on a besoin de grosses pièces, par des assemblages. C'est la hauteur, généralement, qu'il faut augmenter, car avec l'augmentation de la hauteur on a une augmentation de la résistance à la flexion. Dans ce cas on emploie l'assemblage à

[1] Les poutres dites *feuillées* sont très solides ; mais les entailles affaiblissent beaucoup la force de la poutre ; aussi se contente-t-on souvent d'adosser de chaque côté de la poutre des lambourdes, sur lesquelles portent les abouts des solives.

CITY

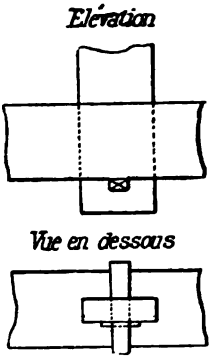


Fig. 582. — Assemblage à clef et tenon passant, pour pièce soumise à un effort de traction (le tenon dépasse la pièce qu'il traverse et une forte cheville en bois forme clef d'arrêt).

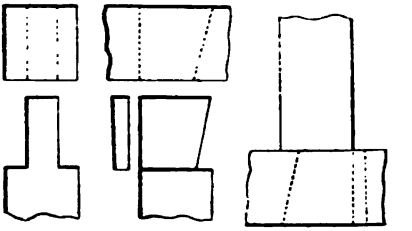


Fig. 583. — Assemblage à tenon, mortaise et queue d'aronde (le grand côté du tenon est au plus égal au plus petit côté de la mortaise; une clef est placée dans l'espace libre).

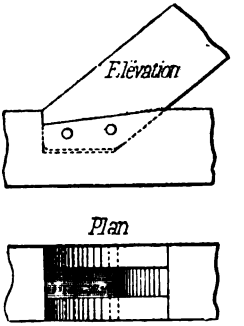


Fig. 584. — Assemblage à tenon, mortaise et embrèvement.

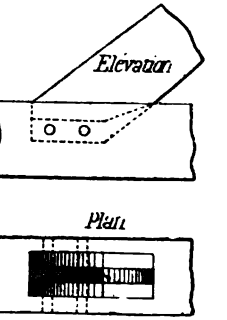


Fig. 585. — Assemblage à embrèvement et à encastrement.

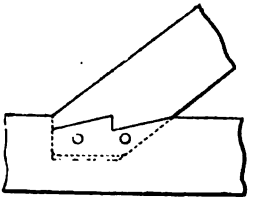


Fig. 586. — Assemblage à embrèvement à double épaulement.

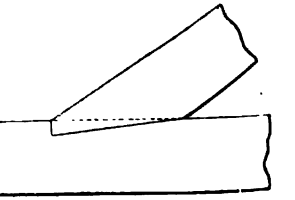


Fig. 587. — Assemblage pour pièces peu comprimées (on les fait simplement buter l'une contre l'autre, dans un embrèvement, sans tenon ni mortaise).

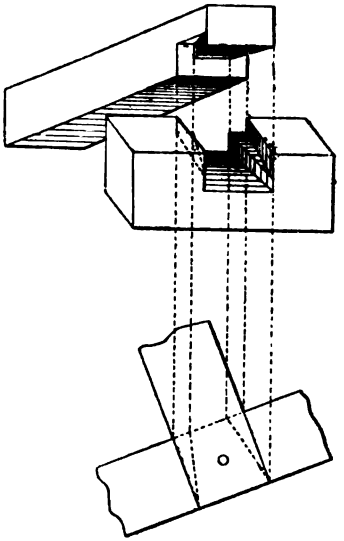


Fig. 588. — Assemblage à queue d'aronde ou d'hironde à recouvrement (employé quand la pièce portant tenon reçoit un effort de traction).

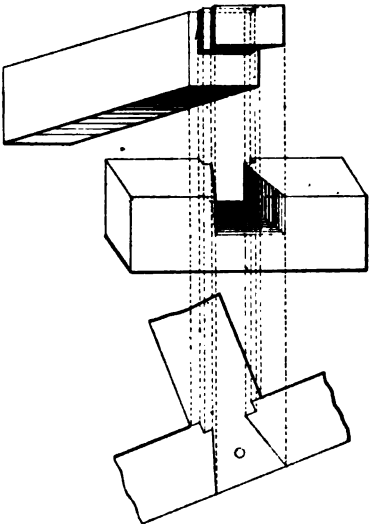


Fig. 589. — Assemblage à queue d'hironde avec renfort au collet.

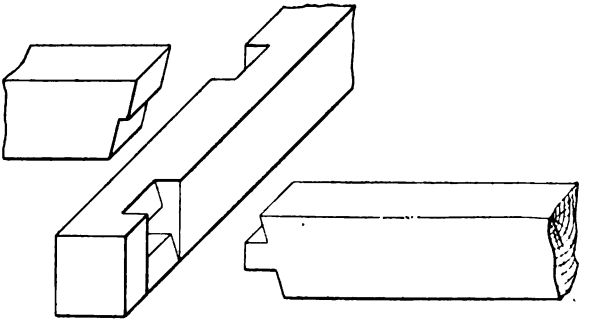


Fig. 590 à 592.

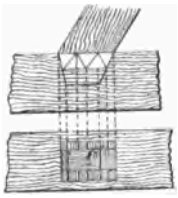


Fig. 593.

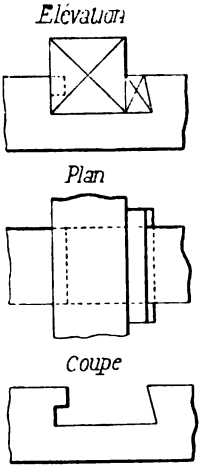


Fig. 594.

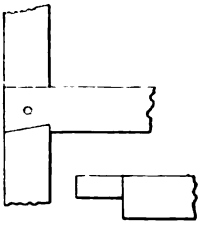


Fig. 595.

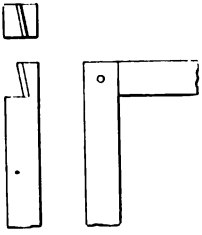


Fig. 596.

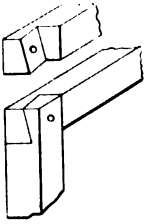


Fig. 597.

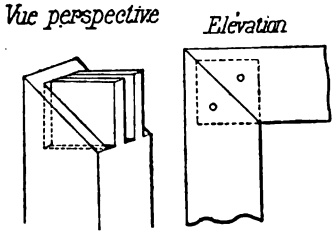


Fig. 598. — Assemblage à onglet avec tenons.

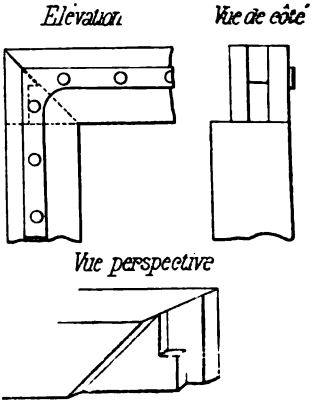


Fig. 599. — Assemblage à onglet renforcé de ferrures (pour porte cochère).

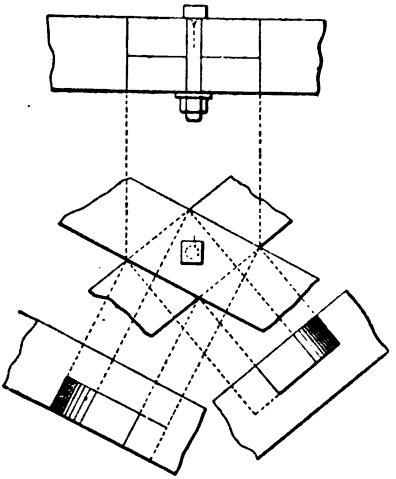


Fig. 600. — Assemblage à mi-bois, avec boulon, pour assemblages avec angle quelconque.

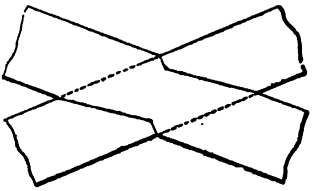


Fig. 601. — Assemblage à mi-bois et embrèvement.

Fig. 601 *bis*.

Fig. 602.

Fig. 603 et 604.

Fig. 605 à 609.

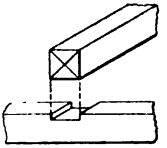


Fig. 610.

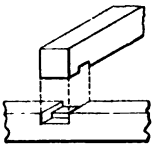


Fig. 611.

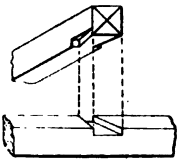


Fig. 612.

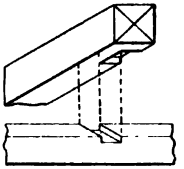


Fig. 613.

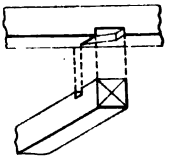


Fig. 614.

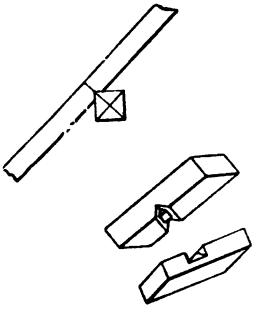


Fig. 615 et 616.

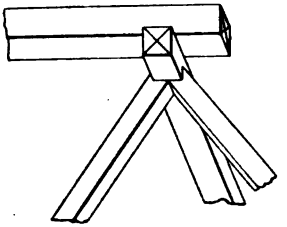


Fig. 617.

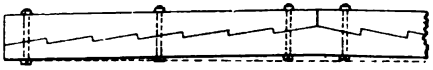


Fig. 618.

Fig. 619.

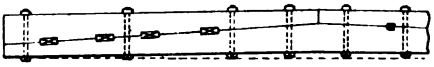


Fig. 620.

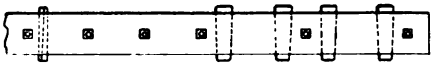


Fig. 621.

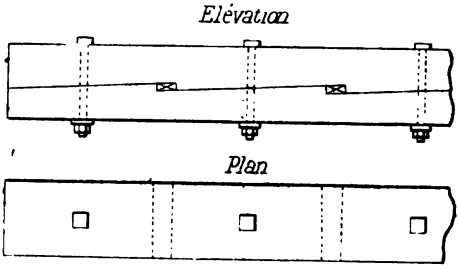


Fig. 622.

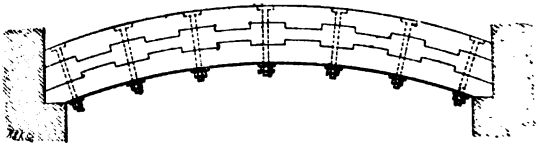


Fig. 623. — Assemblage par crénelures pour pièces jumelées.

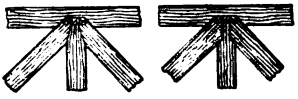


Fig. 624 et 625.

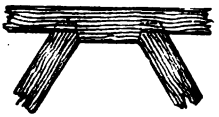


Fig. 626.

Fig. 627.

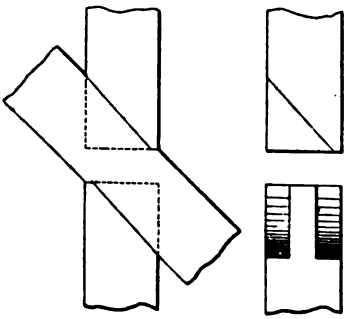


Fig. 628. — Assemblage à oulice.

Fig. 629.

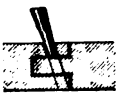


Fig. 630.

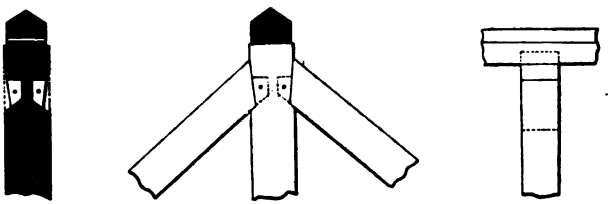


Fig. 631 à 633. — Assemblage du faîtage et de deux arbalétriers (tenon à embrèvement engagé dans une mortaise pratiquée dans le poinçon).

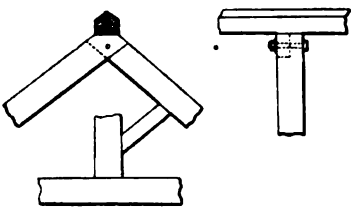


Fig. 634 et 635. — Assemblage à mi-bois et boulon du faîtage et de deux arbalétriers, sans poinçon.

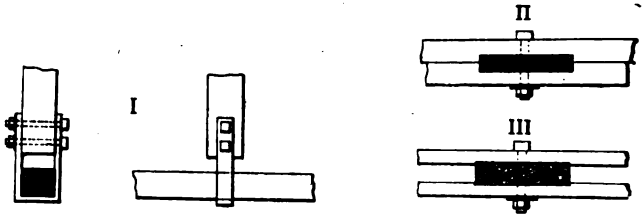


Fig. 638 et 639. — Assemblage du poinçon et de l'entrait. — I. Attache au moyen d'étrier. — II. Moises entaillées. — III. Moises écartées.

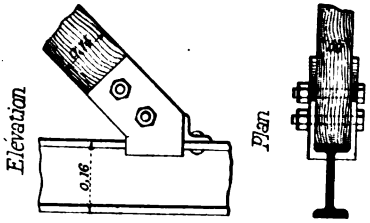


Fig. 640.

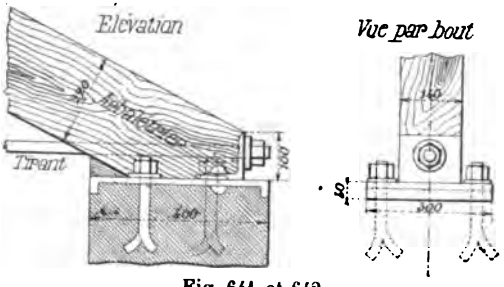


Fig. 641 et 642.

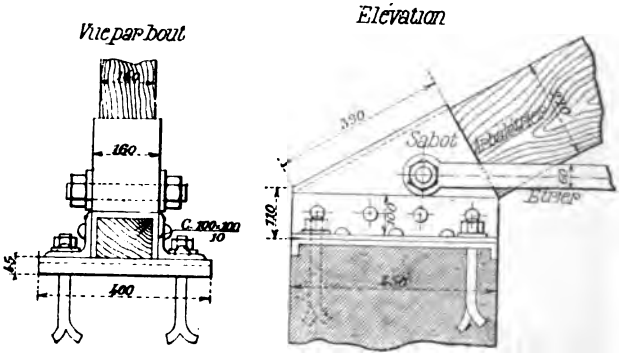


Fig. 643 et 644.

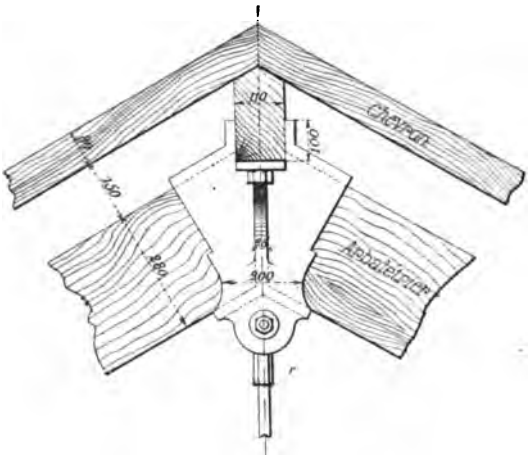


Fig. 645.

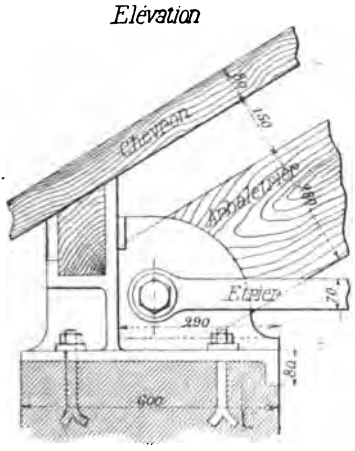


Fig. 646.

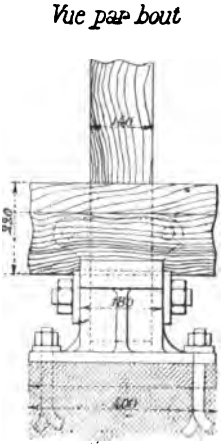


Fig. 647.

crémaillère ou à crans (arbalétriers, contre-fiches, poutres de plancher) (*fig.* 618). Afin d'augmenter la résistance et aussi pour éviter plus tard une flèche, on donne à la poutre, sur chantier, une cambrure de 1/60 à 1/100 de la portée.

On l'obtient en chargeant la poutre à ses extrémités pendant qu'on la construit sur trois chantiers, dont celui du milieu est le plus élevé. Entre les faces des crans, on chasse des coins (*fig.* 619). On simplifiera le travail en opérant un serrage par un jeu de clefs (*fig.* 620 et 621).

Dans les pièces de comble on ne donne pas de flèche. S'il s'agit d'une pièce verticale, on emploie l'assemblage à *crénelures* ou à *endents* rectangulaires et à clef (*fig.* 622 et 623).

Le *déjoutement* est l'assemblage de deux pièces de bois réunies bout à bout dans une même mortaise et formant un angle aigu. Le déjoutement en tour ronde (*fig.* 624) est oblique au point commun, et le déjoutement en *entaille* ou en pavillon (*fig.* 625) est parallèle aux faces du bois.

Quand deux pièces obliques se contre-butent dans un bossage ménagé dans une 3e pièce (*fig.* 626), ce dernier assemblage se nomme *désaboutement* d'armature. Le désaboutement simple est le joint d'assemblage formé par deux pièces se contre-butant directement et assemblées dans une même mortaise (*fig.* 627).

La *clef de joints* est une pièce de rapport qui, logée dans une entaille ou une mortaise faite dans l'épaisseur de 2 pièces de bois, s'oppose à leur écartement. On l'emploie pour réunir 2 planches jointives destinées à former un panneau. La figure 629 montre l'assemblage de 2 pièces de bois destinées à former l'angle d'un châssis ; à droite, les bois sont entaillés et prêts à recevoir la clef; à gauche, la clef est en place.

L'*enlaçure* (*fig.* 630) est un trou rond pratiqué obliquement dans un assemblage à travers les joues des mortaises et le tenon, pour y introduire une cheville conique d'un diamètre plus fort que l'enlaçure, et qu'on insère de force dans le trou fait par le *laceret*. Cet assemblage est très solide.

Assemblages mixtes (*fer et bois; fonte et bois*). — La figure 640 représente l'assemblage d'une jambe de force en bois avec un montant en fer. Sur le montant on a rivé une équerre de repos qui reçoit la jambe de force ; cette dernière est fixée au montant par l'intermédiaire de 2 plaques coudées qui saisissent le patin en fer du montant.

Les figures 641 à 644 représentent des dispositions pour assembler l'arbalétrier en bois et le tirant en fer d'une ferme. Le premier exemple indique un sabot formé d'une cornière rivée sur une platine coudée reposant sur le mur auquel elle est fixée au moyen de boulons de scellement. Dans les figures 643 et 644, le sabot en tôle est rivé sur 2 cornières fixées sur la platine,

Lorsque le sabot est en fonte, l'assemblage des pièces de bois se fait très simplement. Les figures 645 à 647 représentent le sommet et le pied d'un comble mixte.

Frettes. — Les frettes, qui servent généralement à réunir plusieurs pièces juxtaposées dans le sens de leur longueur, peuvent présenter les formes diverses indiquées figure 648.

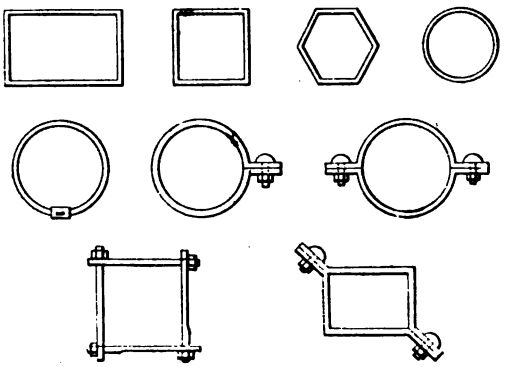


Fig. 648.

Chapeaux. — Les figures 649 et 650 représentent un chapeau en fonte placé à la partie supérieure d'un poteau en bois.

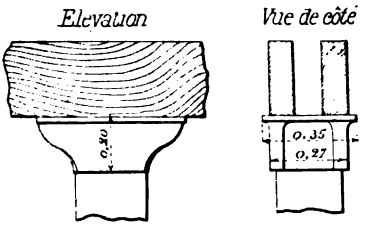


Fig. 649.

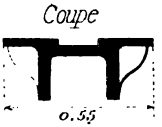


Fig. 650.

Fenêtres. — Pour les hauteurs d'étage de 3 mètres à $4^m,50$, le linteau de la fenêtre est à $0^m,30$ ou $0^m,50$ au-dessous du plafond, et l'appui à $0^m,70$ ou $0^m,95$ au-dessus du plancher (ce qui représente la hauteur de l'allège). Largeur, $1^m,20$ à $1^m,30$; hauteur, 2 mètres à $2^m,70$. Pour les entresols et attiques, on fait les fenêtres presque carrées ou même oblongues, plus larges que hautes.

Les bâtis ou *dormants* des fenêtres sont des encadrements im-

mobiles en menuiserie, composés de 2 montants et de 2 traverses assemblés à angle droit ou carrément à tenon et mortaise; ils sont fixés dans la baie à $0^m,05$ ou $0^m,08$ au moins de la paroi intérieure des murs et se posent dans des feuillures ou entailles de $0^m,06$ à $0^m,12$ faites dans la baie de la fenêtre.

La baie est donc plus grande à l'intérieur, mesurée entre les deux saillies de la feuillure, qu'à l'extérieur entre les 2 tableaux; il suffit que les montants en bois et la traverse supérieure dépassent la pierre, la brique ou l'enduit de $0^m,135$.

La *pièce d'appui* est la traverse *a* (*fig.* 652); elle est surmontée de la traverse ou jet d'eau B d'un des châssis mobiles. La pièce d'appui porte à l'intérieur une feuillure et à l'extérieur elle a une forme ronde, donnée par un quart de cylindre, sur lequel l'eau peut glisser et s'échapper sur l'appui en pierre de la fenêtre. Un listel *c* s'élève à l'extérieur au-dessus de cette partie cylindrique et forme dans l'intérieur la face de la feuillure.

Le jet d'eau B a sa feuillure tournée à l'extérieur de la pièce,

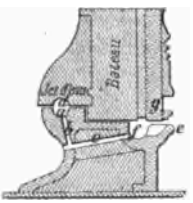


Fig. 651.

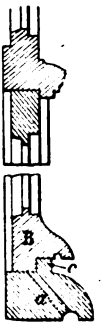


Fig. 652.

et la surface verticale arrive d'aplomb sur celle de la pièce d'appui. La combinaison de la feuillure est destinée à empêcher la pluie et le froid de s'introduire. On a enfin creusé, dans la face intérieure de la traverse mobile, un petit canal (*larmier*) triangulaire, formé d'une face verticale et d'un quart de cercle; l'eau, arrivant à l'extrémité gauche, ne peut remonter dans le canal, et quand elle augmente de volume, son poids la fait tomber sur la pièce d'appui d'où elle s'échappe sur l'appui en pierre.

L'appui de fenêtre en fonte Guipet (*fig.* 651) est muni d'une gorge intérieure pour recevoir l'eau de buée des vitres; des conduits d'écoulement rejettent à l'extérieur de l'appui les eaux de l'une et de l'autre gorge.

On assemble les montants et les traverses par *enfourchement* ou par *épaulement*. Le parallélogramme à jour qui en résulte reçoit les glaces ou le verre double. On divise en plusieurs parties plus hautes que larges, séparées par des *petits bois*, ornés de moulures sur leurs faces intérieure et extérieure.

Le *battant*, *vantail* ou *châssis vitré*, est la partie mobile d'une porte, d'une croisée, d'une armoire, d'un volet, qui pivote sur des fiches ou des gonds. Un battant se compose de 2 traverses et de 2 montants. Les battants des portes simples ou doubles sont quelquefois suspendus par des ferrures à la maçonnerie, mais plus souvent au bâti dormant qui encadre la baie. Ordinairement le montant, du côté des gonds, présente une petite *rainure* dans laquelle s'engage une *languette* circulaire ou *noix*. Elle empêche le vent et la pluie d'accéder à l'intérieur.

Le pourtour intérieur des fenêtres à un seul battant porte une *feuillure* ou *battée*, contre laquelle s'appliquent les pièces de l'encadrement mobile. Cette battée remplit l'office de la noix ; du côté des gonds, elle est parfois complétée par une rainure en

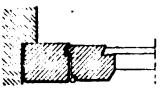


Fig. 653.

Fig. 654.

Fig. 655.

quart de rond recevant une noix de même forme. Dans ces fenêtres à 2 battants, les montants de rives sont profilés, l'un en arc concave, l'autre en arc convexe, qui s'emboîtent exactement; c'est ce qu'on nomme un assemblage à *gueule de loup* (on donne au montant creux plus de largeur et d'épaisseur qu'à l'autre). Ce mode de fermeture est également employé pour les mon-

Fig. 656.

Fig. 657.

Fig. 658.

tants du milieu, ou *battants-meneaux* (*fig.* 654) ; mais, comme il ne permet pas d'ouvrir isolément un seul vantail, on réunit ces battants par une double feuillure (*fig.* 655), par un recouvrement en chanfrein (*fig.* 656), à noix (*fig.* 653), en sifflet (*fig.* 658). Les battants de dormants ont $0^m,054$ à $0^m,08$ d'épaisseur sur $0^m,06$ à $0^m,10$ de largeur. Les châssis ont $0^m,048$ d'épaisseur.

Si l'on fixe des volets brisés à l'intérieur, il faut que la largeur

des montants soit telle que l'épaisseur des volets repliés n'empêche pas l'ouverture de la fenêtre.

L'*abat-jour* est l'inclinaison qu'un appui de fenêtre présente dans l'intérieur d'un édifice pour y faciliter l'accès de la lumière, qui frappe ainsi plus verticalement. Quand cette inclinaison est à l'extérieur, c'est un *glacis*; *a*, extérieur de la pièce (*fig.* 659) ; *b*, intérieur (c'est de ce dernier côté que les murs sont en abat-jour).

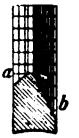


Fig. 659.

Fig. 660.

Fenêtres à meneaux en pierre. — Ces fenêtres gothiques, auxquelles on revient quelquefois, ont des meneaux en pierre disposés en croix de $0^m,25$ à $0^m,40$ d'épaisseur (d'avant en arrière) et une largeur moindre. Cette épaisseur trop grande enlève du jour.

Les **impostes**[1] sont des traverses qui servent à diminuer la trop forte élévation et le poids des châssis ; on s'en sert pour les fenêtres de $3^m,25$ à $4^m,90$ de haut ; les impostes ont de $0^m,08$ à $0^m,10$ de haut, sur même largeur que les battants de dormant au fond de la feuillure ; à moins que, comme dans les fenêtres cintrées, les volets ne montent que jusqu'à la naissance du cintre ; alors elles devront s'affleurer avec la côte. L'imposte doit porter en dessous, à l'intérieur, une feuillure de $0^m,013$ à $0^m,015$ de haut, dans laquelle se loge l'épaisseur du châssis. L'espace entre le dessous de la traverse d'en haut et l'imposte se ferme par des châssis dormants, arrêtés haut et bas par des feuillures ; celle du bas est disposée comme les pièces d'appui et jets d'eau des châssis mobiles. Ces deux petits châssis sont séparés par un montant de même largeur que la côte saillante ménagée sur le battant meneau, assemblé haut et bas à tenon et mortaise.

Pour les fenêtres cintrées par le haut, les impostes se placent au niveau de la naissance du cintre et même un peu plus bas. Quand les fenêtres se terminent carrément, après avoir fait le compartiment total des carreaux, on y place l'imposte à la hauteur d'un carreau, en contre-bas du linteau.

Les **portes-croisées** ouvrent toujours à doucine ou à chanfrein et ont par le bas des panneaux autour desquels règne en parement la même moulure qu'au dessus. Ces panneaux sont arasés par dehors ou sont *recouverts*, c'est-à-dire font corps sur le bâti. Il faut rapporter ou ravaler, sur les traverses d'appui des portes-croisées, des cymaises méplates de $0^m,03$ à $0^m,06$ de large, ayant la même épaisseur que la côte pour porter les volets.

On scelle les fenêtres, en mettant, entre le châssis et les traverses des dormants, de petites cales de l'épaisseur du jeu qui doit exister entre eux et en mettant des coins de bois entre le

[1] D'après Daniel Ramée. *L'Architecture et la construction pratiques.*

dormant et le mur, mais seulement au droit des traverses et des impostes. Les fenêtres s'arrêtent au moyen de *pattes à scellement*, entaillées de leur épaisseur sur les dormants, où elles se fixent par des vis à tête fraisée. On donne à l'extrémité de la patte la forme d'une queue d'aronde. S'il existe du jeu entre la fenêtre et le fond des feuillures, on le remplit avec du plâtre.

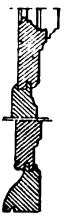


Fig. 661.

Volets. — Les volets, vantaux de menuiserie, se composent de battants, traverses, panneaux et frises disposés par compartiments. Ce sont des portes suspendues, dont les pièces sont beaucoup plus minces que celles employées pour les portes réelles. Les volets sont fixés aux montants des châssis dormants par des fiches.

Les volets peuvent être brisés dans la largeur en 2 ou 3 parties, selon l'épaisseur de la muraille qui forme *ébrasure*. Ils sont d'une seule pièce quand les ébrasements sont assez larges pour les contenir, ce qui est rare. La brisure des volets se fait soit à feuillure (*fig.* 655), soit à rainure et languette (*fig.* 653). Les dernières feuilles des volets brisés doivent être plus étroites de $0^m,035$ pour que la saillie de la boule de l'espagnolette ne gêne pas.

Les battants des volets portant des fiches ont $0^m,067$ de large, plus les feuillures et la moulure ; on donne de $0^m,007$ à $0^m,013$ de moins à ceux des rives ; ceux de brisure ont ensemble $0^m,08$ à $0^m,10$ de large et $0^m,034$ à $0^m,038$ d'épaisseur. Les traverses des volets ont $0^m,067$ à $0^m,08$ de champ, plus la longueur des moulures et des feuillures. Leurs assemblages doivent être derrière la rainure et avoir 2/7 de l'épaisseur des volets.

Persiennes. — Les persiennes sont des fermetures composées d'un bâti ou châssis, dans le vide duquel on assemble parallèlement entre elles des lattes ou feuilles de bois minces, éloignées les unes des autres de l'épaisseur du châssis et disposées diagonalement en abat-jour ou sous un angle de 45°. Les persiennes doivent toujours ouvrir ou battre dehors ; elles peuvent être posées sans battants, ajustées seulement dans des feuillures pratiquées sur l'arête extérieure du tableau (*fig.* 662). Les bois de châssis doivent avoir de $0^m,08$ à $0^m,10$ de large et $0^m,034$ à $0^m,045$ d'épaisseur. Les lames sont entrées souvent dans les battants au moyen d'entailles, plus profondes par le haut ; on les fixe en bas avec une petite pointe, on les fait entrer aussi en entailles, en ménageant un goujon saillant de la lame qui entre dans un trou pratiqué au milieu de l'entaille. La meilleure manière est de supprimer entailles et goujons et de faire à chaque lame un tenon de $0^m,011$ à $0^m,014$ de large ; on laisse aux tenons de 2 à 3 lames, égale-

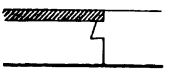


Fig. 662.

ment distantes, une longueur suffisante pour pouvoir être chevillés.

Si les persiennes sont en sapin, on abat haut et bas le champ des traverses à l'intérieur, selon l'inclinaison des lames ; on fait de même pour celles du milieu, auxquelles on donne l'épaisseur de plusieurs lames en raison de l'élévation de la baie.

Quand ces lattes ou lames sont mobiles, on les monte sur une *crémaillère* (tringle en bois, dentelée) à *tourillons* (pivots placés en bas et en haut de la partie mobile), qui les fait mouvoir de manière à les fermer (puisqu'elles sont à recouvrement les unes sur les autres) et à les ouvrir horizontalement ou obliquement en l'air du dedans à l'extérieur, en les tournant en sens inverse.

Le chêne est le bois préférable pour persiennes.

L'épaisseur de lames ($0^m,009$ à $0^m,014$) peut être façonnée en chanfrein, mais de préférence en doucine ou en feuillure.

Portes d'intérieur. — Les portes *pleines* se composent (*fig.* 663) de frises ou de planches P, assemblées entre elles soit à rainures et languettes A, soit collées champ contre champ, soit à clef K, engagées dans l'épaisseur des frises, ou K' dans la face postérieure de l'ouvrage dans le sens longitudinal ; elles sont assemblées par leurs extrémités dans des traverses dites *emboîtures* C, au moyen de rainures et languette continue L. Lorsque les portes ont plus de $0^m,034$ d'épaisseur, on les joint à plat et on y rapporte des languettes très minces. Il faut donner de la *refuite*, c'est-à-dire du jeu, aux tenons qui entrent dans les emboîtures, pour empêcher le bois d'éclater en faisant son retrait ; pour cela, on élargit les trous des chevilles dans les tenons et l'on agrandit les mortaises en sens contraire. On donne de la solidité en ménageant au bout de certaines planches et frises et surtout sur celles de rives des tenons D qui entrent dans les emboîtures et en les y chevillant.

Une porte d'appartement a presque toujours 2 parements ; elle doit ouvrir à feuillure.

L'épaisseur des bois employés est de $0^m,036$ pour les portes de $2^m,27$ à $2^m,92$ de haut ; $0^m,040$ pour celles de $2^m,92$ à $3^m,88$; $0^m,045$ pour celles de $3^m,88$ à $4^m,90$.

Les portes d'intérieur à un vantail se composent généralement de 2 grands panneaux ou de 2 grands panneaux séparés par un petit panneau intermédiaire. Les portes extérieures à un vantail se font plutôt avec 6 panneaux, disposés par rangée horizontale de 2. Tous ces panneaux s'encadrent de moulures non rapportées, mais poussées sur les montants et les traverses. L'arête extérieure de la porte peut être rectangulaire ; on y pratique souvent un *congé* (quart de cercle creux) répété sur l'arête vide du chambranle.

Quand on pose les serrures dans l'épaisseur des portes, il faut

combiner la division des panneaux de façon qu'il se trouve une traverse pour recevoir la serrure.

La figure 664 représente un bâti de porte sur lequel on cloue le revêtement ou l'on embrève les panneaux; il comprend : battants de rive ; battants meneaux; traverse haute ; traverse basse ; traverse intermé-

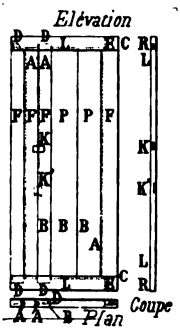


Fig. 663.

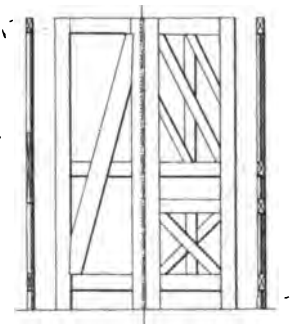


Fig. 664.

diaire, au niveau de la serrure, à 0m,85 ou 1m,15 du sol; écharpes; croix de Saint-André.

La figure 664 (à gauche) est la coupe verticale et l'élévation postérieure d'un vantail d'une porte pleine clouée sur un bâti. La figure 664 (à droite) donne la coupe verticale de l'élévation postérieure d'un vantail d'une porte d'assemblage.

La figure 665 représente une porte intérieure pendue au moyen de paumelles.

A, huisserie ou dormant scellé dans la feuillure du mur ;

C, chambranle masquant l'huisserie;

D, revêtement assemblé dans l'huisserie ;

E, arête rabotée de l'huisserie.

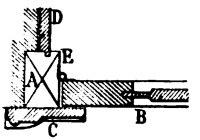


Fig. 665.

Les *portes cochères* ont des vantaux formés d'un fort bâti au haut duquel est un panneau et de 3 guichets, dont l'un est dormant et l'autre mobile. L'épaisseur des gros bâtis sera de 0m,10 pour les portes cochères de 3m,90 de haut ; de 0m,12 pour celles de 4m,90 ; de 0m,16 pour celles de 5m,90. Les battants de rive doivent avoir leur épaisseur en largeur, plus la grandeur du champ, qui varie de 0m,13 à 0m,18. Il faut y ajouter de 0m,027 à 0m,040 pour la moulure qui règne sur les arêtes intérieures. Les battants du milieu ont la même largeur de champ et de moulure que les précédents, plus 1/2 de leur épaisseur, pour les portes qui ouvrent à feuillure, et 1/6 pour celles qui ouvrent à noix.

Les traverses du haut, du bas et du milieu devront avoir même épaisseur et largeur du champ que les battants, plus de 0m,054 à 0m,067 de portée pour celle du haut, et les embrèvements et moulures nécessaires. Les traverses en bas doivent avoir de 0m,13 à 0m,16 de large et une épaisseur égale ou supérieure à celle des battants. Les battants portant le guichet dormant doivent être rainés à l'intérieur ; on laisse 0m,33 de joue en parement à ceux qui ont 0m,10 d'épaisseur, 0m,40 à ceux de 0m,13 et 0m,45 à ceux de 0m,16. Les rainures doivent avoir 1/3 de largeur de ce qui reste après la joue ou l'épaisseur du guichet, sur 0m,27 de profondeur. La traverse au-dessus du guichet devra être rainée, mais non celle du bas.

Une porte cochère de 2m,60 à 3m,20 de large doit avoir 3m,80 à 4m,50 de haut.

Le *chambranle* est un encadrement de bois, de pierre, de marbre, etc., uni ou décoré de moulures, etc., qui borde une fenêtre, porte ou cheminée. Un chambranle se compose de 2 montants ou pieds-droits couronnés d'une traverse. Quelquefois les chambranles des fenêtres présentent 4 crossettes ou ressauts, une à chaque angle. Une corniche porte souvent directement sur le chambranle, ou est placée un peu au dessous; il existe souvent une frise entre la corniche et le chambranle. Dans les baies cintrées, le chambranle est cintré. Le chambranle de portes reçoit les gonds qui supportent les battants.

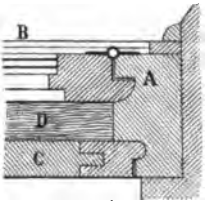


Fig. 666. — Croisée B et volet extérieur C unis à un même bâti dormant A par des noix (l'une en demi-cercle, l'autre en quart-de-rond).

Les consoles peuvent être posées en dehors des montants des chambranles sur le nu du mur, ou placées sur des panneaux ou pilastres adossés aux montants (*contre-chambranles* ou *arrière-chambranles*).

Les chambranles peuvent porter sur un stylobate, un seuil ou un appui ; dans ces derniers cas, ils sont *posés à cru*. Les pièces des chambranles s'assemblent d'onglet, à tenons et mortaises (creusées dans la corniche).

Sur les chambranles des portes aboutissent les tentures ou s'assemblent les lambris. Les chambranles s'assemblent aussi avec les *ébrasements*, qui revêtent le dessous et les côtés du tableau des portes d'intérieur. Sur l'épaisseur du chambranle est pratiquée une feuillure dans laquelle se loge la porte.

Le balcon vitré dit **bow-window**, aux membrures métalliques, réveillées de faïences, est comme un petit jardin d'hiver, une véranda, un cabinet à pans vitrés ; d'importation anglaise, il se répand beaucoup à Paris. Les plinthes courant les appuis en

fonte sont souvent enveloppées et ravalées en plâtre. Un étage bow-window peut revenir de 1.500 à 2.000 francs, avec la sonnerie posée et peinte au minium, les faïences ornées, la peinture et la vitrerie, etc.

Lambris. — Les lambris sont des ouvrages de menuiserie dont on revêt les parois intérieures des murs.

Les *lambris d'appui*, destinés aux lieux que l'on veut tapisser ou peindre, ont de $0^m,80$ à $0^m,90$, hauteur ordinaire de l'appui des croisées. Les lambris sont simples ou à cadre et à pilastre. Le bas est orné d'une plinthe ou socle ; le haut se surmonte d'une corniche peu saillante. La *cimaise*, partie comprise entre le socle et la corniche, est divisée en panneaux séparés par de petits pilastres ou montants avec ou sans chapiteau et base. Les panneaux, en feuillet de chêne, sont renfermés dans des traverses ou formés par des bâtis. Ils doivent être en planches jointes de $0^m,16$ à $0^m,21$ de large, à rainures et languettes, $0^m,13$ à $0^m,010$ d'épaisseur ; le parement de derrière reste brut. Dans les endroits humides on doit y appliquer une ou deux couches de peinture à l'huile et enduire la face contre le mur d'une couche de goudron ou de bitume. On maroufle souvent les panneaux en grosse toile pour les empêcher de se fendre.

Les lambris d'appui doivent être posés quand les murs neufs sont secs. On ne doit pas enduire les murs qui doivent recevoir des lambris, il suffit de les rejointoyer et de laisser la pierre, le moellon ou la brique apparents ou de les recouvrir d'un gros crépi fait avec du résidu de plâtre passé au sas (*manchette*).

Quand on ne peut pas attendre pour poser la menuiserie que les murs soient entièrement secs, on laisse entre les murs et les lambris un espace de $0^m,025$ à $0^m,050$ pour que l'air puisse circuler et activer l'évaporation. On peut encore garnir le revers des panneaux et des bâtis avec de l'étoupe trempée dans du goudron en ébullition.

La pose des lambris au moyen de *broches* est peu coûteuse, mais sale. Il est préférable de les poser avec des vis. Pour cela, on scelle d'abord des morceaux de bois dans les murs, à la rencontre de chaque vis ; ces bois doivent être taillés à queue d'aronde sur leur épaisseur, afin qu'on ne puisse les arracher.

Les tampons doivent être bien dressés et bien d'aplomb pour que les lambris portent également dessus. Quand on isole les lambris des murs, on fait saillir les tampons jusqu'au droit des montants. Les vis doivent avoir leurs têtes enterrées et être recouvertes d'un tampon de *bois de fil*, c'est-à-dire du sens du bois. Si les têtes sont apparentes, elles produisent un mauvais effet et se rouillent quand elles sont peintes en détrempe.

On pose les *glaces* avec ou sans parquet. Les parquets de glaces ne s'attachent pas comme le reste de la menuiserie dormante ;

on se sert de vis à écrou ou *vis à parquets de glace*, qui ne sont jamais apparentes, mais qui se placent dans les traverses du parquet, dans lesquelles leur tête est entaillée jusqu'à fleur, pour qu'elle ne porte pas sur le tain de la glace.

Prix de divers ouvrages en bois

Barres d'appui, profil olive, 0,055 × 0,034, en chêne.....	1 fr. 30
— — en noyer.....	1 fr. 90
— — en acajou.....	2 fr. 80
Barres d'appui, profil à gorge de 0,059 × 0,041, en chêne...	1 fr. 50
— — en noyer...	2 fr. 85
— — en acajou..	3 fr. 40
Jalousie garnie de cordons et rubans ou chaînettes galvanisées ; lames, tête et pavillon chantourné ; le tout peint à l'huile, 3 couches, en sapin, le mètre superficiel.....	9 fr. 30
En chêne, le mètre superficiel.....	11 fr. »
Main-courante, profil olive de 0,050 × 0,034 et moins, en noyer, non vernie, le mètre linéaire.....	6 fr. 40
En chêne et acajou, vernie, le mètre linéaire.....	8 fr. 60
Main-courante, profil à gorge de 0,059 × 0,034 et moins, en noyer, non vernie, le mètre linéaire.....	8 fr. 15
En chêne et acajou, vernie, le mètre linéaire.....	10 fr. 65
Moulure sur chêne, le mètre linéaire, au chantier	0 fr. 12
— sur le tas —	0 fr. 18
Moulure sur sapin, le mètre linéaire, au chantier ou sur le tas..... 0 fr. 03 et	0 fr. 04
Persiennes sans dormants, lames en sapin, bâtis sapin, 0,027 d'épaisseur, le mètre superficiel.....	10 fr. 20
Persiennes lames chêne, bâtis chêne, 0,027 d'épaisseur.....	18 fr. 10
Plinthes, bandeaux, champs, tringles, battements et bâtis de tenture ajustés et posés, 3 parements : sapin 0,027 ou 0,034 et 0,10 de large, le mètre linéaire..... 0 fr. 63 et	0 fr. 78

Planchers en bois [1]. — Les planchers, qui séparent les étages d'un édifice, comprennent le plafond, la charpente et le carrelage ou le parquet. Dans un plancher (*fig.* 667) on distingue :

La *maîtresse poutre* recevant les abouts des solives de remplissage et des poutres d'enchevêtrure dans les grandes surfaces de planchers, afin de reporter le poids sur les points d'appui ;

b (*fig.* 667), *poutres ou solives d'enchevêtrure* recevant les abouts des chevêtres, des linçoirs, et supportant la maçonnerie des foyers [2] ;

[1] Un plancher en bois de 0m,027, sapin frise de 0m,16 à 0m,32 de large, vaut 3 fr. 46 le mètre superficiel. Le prix des planchers refaits à neuf, pour façon entière, est de 4 francs.

[2] Les solives d'enchevêtrure, en raison du poids considérable qu'elles supportent, sont souvent scellées de 0m,22 à 0m,25 dans les murs. Chacune de leurs dimensions transversales doit avoir au moins 0m,027 de plus que les solives de remplissage.

d, *chevêtre*, poutre portant d'un bout sur une solive d'enchevêtrure, et de l'autre sur un mur. Elle reçoit les abouts de solives de remplissage. Les chevêtres sont placés près des jambages de cheminées, ou pour ménager des vides de l'empoutrement.

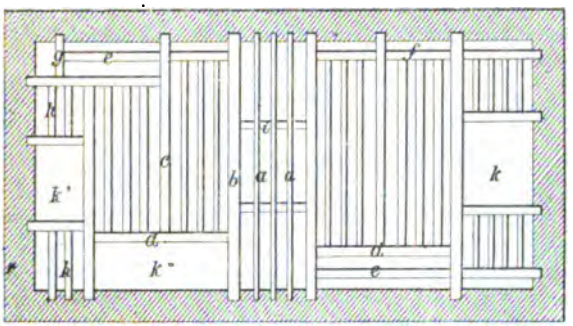


Fig. 667.

a, *a* représente les solives. Les *faux chevêtres e* sont des chevêtres placés derrière d'autres pour remplir l'espace entre un vrai chevêtre et le mur. Les *linçoirs f* portent sur les poutres d'enchevêtrure et reçoivent dans leurs mortaises les abouts de solives de remplissage. Ces pièces sont placées à 0m,16 des murs et sont destinées à éviter le porte-à-faux des solives qui ne peuvent porter sur les murs, soit à cause de la présence des baies, soit à cause du passage de tuyaux de cheminées. On appelle aussi linçoir une pièce de peu de longueur qui s'assemble dans un chevêtre à une extrémité et repose sur le mur par l'autre[1].

Toute pièce de bois doit être au moins à 0m,16 de la face extérieure d'un conduit de fumée ou d'une cheminée.

Les *lambourdes* sont des poutres en bois appliquées contre les murs, engagées dans leur épaisseur, soutenues par des étriers et supportant les abouts des solives (*fig.* 668 à 670). Les pièces de bois engagées dans la maçonnerie s'y échauffent ; à cause des tassements possibles, il ne faut pas faire porter sur la lambourde une partie du poids supérieur[2]. La dimension verticale

[1] Les tenons des chevêtres et linçoirs se renforcent en taillant en congé un petit pan incliné dans l'angle rentrant de la face supérieure du tenon ; on les soulage à l'aide d'étriers ou de corbeaux en fer.

[2] Les lambourdes, pour être solides, doivent être encastrées d'environ 1/2 de leur largeur dans les murs qu'elles longent. L'assemblage des solives aux lambourdes le plus solide est celui avec un recouvrement de 1/3 et une queue d'aronde de 2/3 de la dimension verticale de la lambourde.

en solives étant 1, la même dimension des lambourdes doit être 1,5, et leur dimension horizontale 1. Les figures 668 à 670 donnent des dispositions de lambourdes.

Toute poutre portant dans la maçonnerie doit en être isolée sur 3 faces par de la maçonnerie sèche et, si c'est possible, doit avoir son about exposé à un courant d'air.

Au lieu d'appuyer les maîtresses poutres sur des lambourdes,

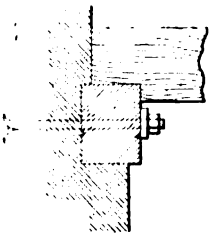


Fig. 668.

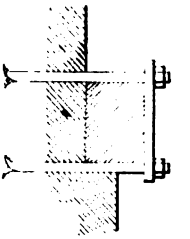


Fig. 669.

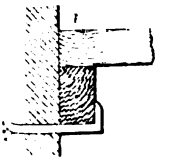


Fig. 670.

on peut les appuyer sur des *corbeaux* de pierre qui pourront recevoir des motifs de décoration.

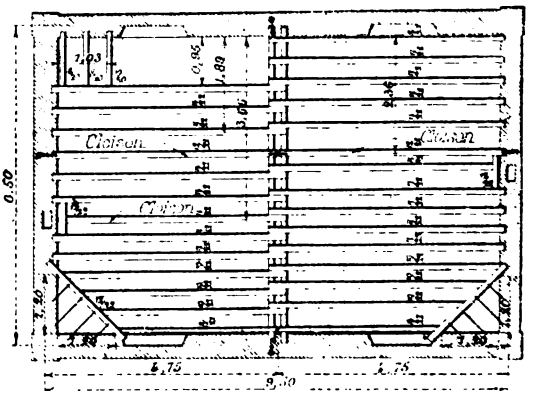


Fig. 671. — Plancher en bois avec poutre.

On pose encore les abouts des poutres sur des sommiers ou semelles de bois destinés à supporter la pression.

c (*fig.* 667), *solives de remplissages ordinaires*, portant sur les murs aux deux bouts ou sur la maîtresse poutre.

h, *solives boiteuses* ou *soliveaux*, portant d'un bout sur une poutre

d'enchevêtrure, et de l'autre sur un chevêtre, ou sur un linçoir, avec lequel elle est assemblée à tenon et mortaise.

i, *étrésillons* ou *entretoises*, pièces de bois, chassées à force entre les solives, entre les poutres d'enchevêtrure et destinées à main-

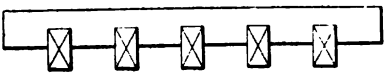


Fig. 672.

tenir les écartements et à donner de la rigidité (ne s'emploient que pour grande portée).

La figure 672 représente une *lierne*, pièce de bois de 4 à 7 mètres de long portant des entailles moitié de leur épaisseur au droit des solives; on y engage celles-ci et on les y retient par des boulons ou des chevilles en bois ou en fer; les liernes servent, comme les étrésillons, à liaisonner le plancher.

La *lambourde accolée* est une pièce de bois reliée à une maîtresse poutre par des boulons et des étriers en fer et sur laquelle on fait porter les solives; c'est une disposition économique, puisqu'elle demande des bois de moindre équarrissage.

Les solives sont ordinairement écartées de $0^m,60$; pour de fortes charges, on réduit l'écartement à $0^m,40$ et on le porte à $0^m,80$ pour des charges légères.

Voici, pour des charges normales, l'épaisseur à donner à des solives reposant librement sur les appuis :

DÉSIGNATION	PORTÉE LIBRE	SOLIVES		OBSERVATION
		LARGEUR	HAUTEUR	
	mètres			
Chambres et habitations : charge par mètre carré de plancher, 250 kilogr.	3	0,06	0,18	Les solives sont supposées écartées de $0^m,70$ d'axe en axe.
	4	0,08	0,22	
	5	0,09	0,26	
Bureaux, pièces de réception : charge par mètre carré de plancher, 350 kilogr.	3	0,07	0,22	
	4	0,08	0,24	
	5	0,10	0,28	
	6	0,11	0,33	
	7	0,12	0,36	

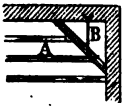
On donne aux *sablières* placées contre le mur $0^m,12$ d'équarrissage. Les *planches de parquet* ont de $0^m,030$ à $0^m,045$ d'épaisseur. On donne généralement aux poutres pour équarrissage 1/18 de leur portée quand elles sont espacées de 3 mètres à $3^m,50$.

Pour les *poutres d'assemblages*, formées par la réunion de plusieurs pièces de bois assemblées par des endentures avec clefs et boulons, ou à trait de Jupiter, il ne faut compter que sur les 3/4 de la résistance que présenterait une pièce unique de même section. Ces pièces se desserrent et fléchissent avec le temps.

Les poutres assemblées à crémaillère sont superposées, les crans pratiqués dans la pièce inférieure emboîtant ceux de la poutre supérieure; chaque extrémité des joints porte un trou carré dans lequel on fait entrer de force une clef de bois. Le tout est réconforté au moyen d'étriers en fer ou de boulons.

Un système solide et économique (*fig.* 673) consiste à scier un

Fig. 673. — Poutre refendue.



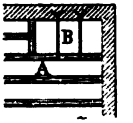


Fig. 674 et 675.

peu en biais un tronc d'arbre dont on adosse les deux parties P, qu'on a reliées avec des boulons; on fixe sur le bas de la poutre des lambourdes LL, qui reçoivent les abouts des solives *ce*.

Enchevêtrure (*fig.* 674 et 675). — Le vide qui existe entre le chevêtre et les solives d'enchevêtrure est rempli par les barreaux de fer B, encastrés d'un bout dans le mur et portant de l'autre bout, façonné en forme d'étrier, dans la solive d'enchevêtrure A. Si la cheminée se trouve assez rapprochée d'un angle formé par 2 murs, l'une des solives d'enchevêtrure est supprimée (*fig.* 675).

Enfin, dans les cheminées placées dans l'angle formé par 2 murs, le chevêtre A s'encastre dans ces murs, comme le montre la figure 674.

L'*étrier* est une bande de fer plat coudé, contre-coudé et à talons; il sert à consolider des assemblages de planchers. Il embrasse l'about d'une poutre d'enchevêtrure, d'un chevêtre, d'un linçoir, et ses talons sont posés à plat sur la maîtresse poutre et y sont fixés par des clous à bâtiment. Les figures 683 à 691 montrent diverses formes d'étriers.

L'étrier (*fig.* 682) peut embrasser une ou deux pièces de bois et être boulonné à une plate-bande ou semelle placée sur l'une des pièces.

On peut harponner les poutres et les solives d'un plancher en bois, par le système de la figure 697.

On peut relier une poutre ou une solive au mur sur lequel elle

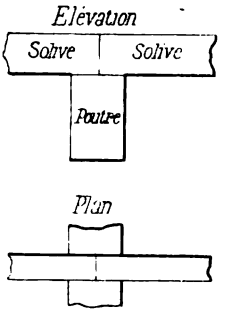


Fig. 676. — Solive reposant sur poutre.

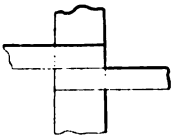


Fig. 677. — Solives côte à côte reposant sur poutre.

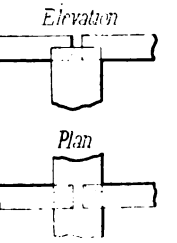


Fig. 678. — Poutre entaillée pour recevoir les solives.

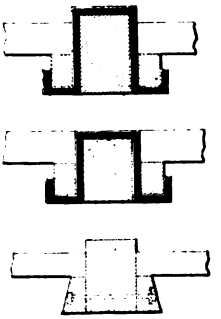


Fig. 679. — Solive reposant sur lambourdes accolées, pièces de bois fixées à la poutre à l'aide d'étriers ou boulons.

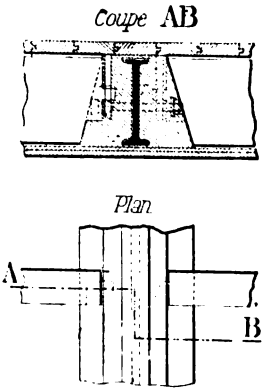


Fig. 680. — Solives dont le dessus affleure avec le dessus des poutres logées dans l'épaisseur du plancher.

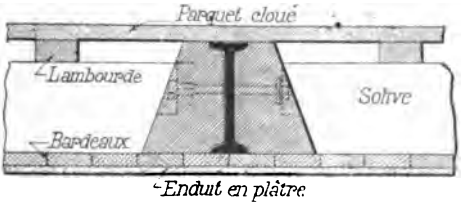


Fig. 681. — Solives, lambourdes et parquet cloué.

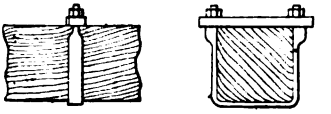


Fig. 682.

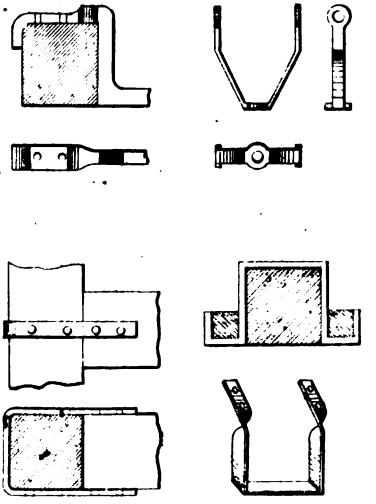


Fig. 683 à 691. — Étriers.

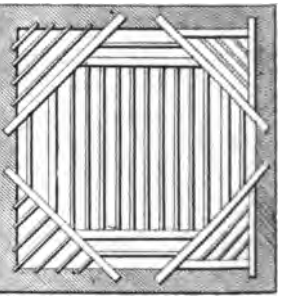


Fig. 692. — Plancher d'enrayure ou d'assemblage.

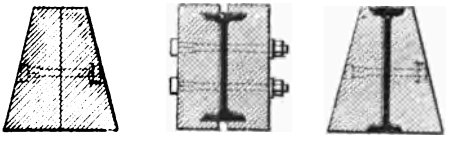


Fig. 693 à 695. — Assemblage de poutres en bois pour planchers au moyen d'un fer en I et de boulons.

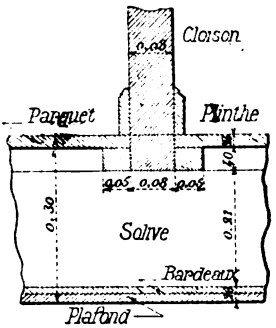


Fig. 696. — Disposition de plancher pour supporter une cloison.

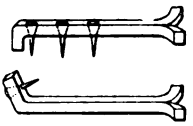


Fig. 697 et 698.

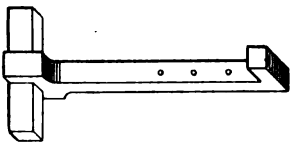


Fig. 699.

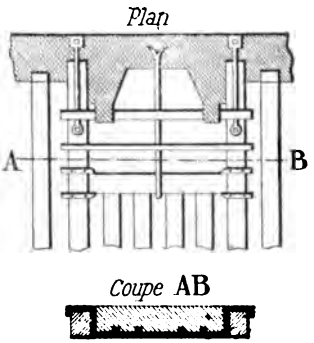


Fig. 700.

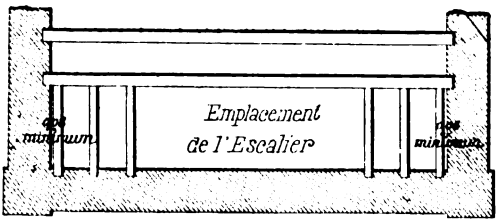


Fig. 701. — Plancher disposé pour le passage d'un escalier.

porte par les *harpons* et *corbeaux* qui sont à scellement (*fig.* 698), ou par le harpon à ancre (*fig.* 699)[1].

Il est utile, à chaque deuxième ou troisième solive, de placer un *ancrage* à talon en fer plat de 0m,05 de large sur 0m,015 d'épaisseur et 1 mètre à 1m,30 de long au-dessus et au-dessous des solives.

La figure 700 indique la construction de la trémie. Les *bandes de trémie* sont des fers plats coudés aux deux extrémités dont deux reposent sur des chevêtres, et l'autre sur la poutre d'enchevêtrure ; ils porteront le massif sur lequel sera l'âtre.

Chaînage. — Le chaînage est une opération qui a pour but de relier et de maintenir réunis entre eux horizontalement par des chaînes assujetties à leurs extrémités des matériaux, des murs, des planchers, etc., pour prévenir leur écartement. Il y a avantage à se servir de fers *méplats*, au lieu de fers carrés de même superficie. Une barre de fer méplate de 0m,027 de largeur sur 0m,009 d'épaisseur est préférée à celle de 0m,018 en carré, quoique la superficie du rectangle qui forme la première barre ne soit que les 3/4 de la superficie du carré qui forme la seconde. Comme on n'a pas toujours des longueurs de fers voulues, il faut les assembler.

L'assemblage à *crochets* ou à *crampons* se compose d'une série de pièces en fer dont un bout est un anneau, et l'autre un crochet. Ces pièces s'accrochent les unes aux autres. Cette chaîne peut

Fig. 702. Fig. 703. Fig. 704. Fig. 705.

être posée dans une rigole taillée dans le lit de l'assise et coulée en plomb.

L'assemblage à *charnières* se compose (*fig.* 702 et 703) de deux barres de fer dont l'extrémité de l'une forme une fourchette dans laquelle on insère le bout de l'autre. On introduit dans le trou pratiqué dans les épaisseurs de ces fers un boulon à clavette (*fig.* 702, ou à vis (*fig.* 703) ou à double coin (*fig.* 704 et 705).

Dans l'assemblage à *talon*, à *moufles* ou à *mentonnets*, les extrémités des barres de fer sont terminées par des talons ou ressauts tournés en sens contraire ; on maintient la réunion des barres à

[1] Cette ancre s'encastre au dehors du mur. Dans le cas où les extrémités de deux poutres se rencontrent au milieu du mur, comme cela peut arriver quand les maisons sont doubles, on les relie ensemble par une bande de fer fixée avec des clous dentelés et retenue par des talons ou crampons.

l'aide de bagues ou avec des brides en fer méplat de 0m,04 à 0m,05 qui ne sont pas soudées. Les figures 706 à 709 sont le plan et l'élévation d'une chaîne en plates-bandes de fer plat de 45/9 à 50/9 formée d'un trait de Jupiter, de 2 bagues et de coins de serrage qui servent à raidir la chaîne. Quand les barres de fer sont de petites dimensions, on les assemble au moyen d'un simple trait de Jupiter sans cales ; dans ce cas, les brides sont des bagues rondes extérieurement, tandis qu'à l'intérieur elles épousent la forme des fers auxquels on les ajuste.

Pose. — Si le bâtiment est isolé, on chaîne les murs de face et

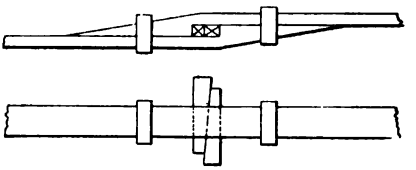


Fig. 706 et 707.

de côté, et, quand le bâtiment est important, on pose des chaînes en diagonale qui passent sur les planchers. Si le bâtiment est adossé ou entre-murs mitoyens, les chaînes ne sont généralement tendues qu'entre les murs des faces principale et postérieure. Il est préférable de chaîner un bâtiment comme s'il était isolé. Chaque chaîne est terminée par un œil (*fig.* 699 et 706), dans lequel on introduit des *ancres* ou *ancriaux*. On donne souvent à ceux-ci la forme d'un S, d'un Y ou d'un Z, pour qu'ils embrassent une grande surface de mur. Dans bien des cas, on encastre les ancres dans l'épaisseur des murs (de 0m,05 à 0m,08 en dehors) pour ne pas nuire à l'effet des façades. On peut laisser les ancres apparentes en dehors des murs de face, ce qui offre plus de solidité et peut servir de motif décoratif.

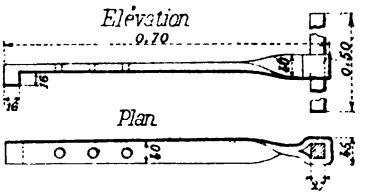


Fig. 708 et 709.

Les ancres entrent le plus souvent verticalement dans un trou de 0m,40 à 0m,50 de profondeur et dépassent la maçonnerie de 0m,10 environ. Pour la maçonnerie de moellons ou briques, les ancres sont en fer carré de 30/30 et de 0m,50 de long ; on y pratique une tranchée pour loger l'ancre et on la rebouche avec du mortier ou du plâtre. Pour les maçonneries de pierre de taille, les ancres sont en fer rond de 0m,03, placées dans l'axe des

murs ; dans ce cas, on perce l'ouverture nécessaire, soit en bâtissant, soit sur place avec un pic. Il est bon de peindre les chaînes et leurs ancres au minium.

On met des chaînes avec des ancres à l'extrémité des sablières, des grosses cloisons de charpentes, au droit des planchers, au bord des entraits des combles, à l'extrémité des pannes et des faîtages.

Les barres en fer plat employées ont de $0^m,054$ à $0^m,067$ de large sur $0^m,013$ à $0^m,015$ d'épaisseur. Le carré doit avoir $0^m,021$ à $0^m,034$ de grosseur.

Poids des matériaux composant un plancher en bois[1]

	POIDS DU MÈTRE CARRÉ SUIVANT LES ÉPAISSEURS	
	Epaisseur	Poids
Hourdis en briques pleines de $0^m,11$	$0^m,11$	198^{kg}
Hourdis en briques pleines de $0^m,22$	0 22	396
Hourdis pleins en plâtre ou plâtras	0 10	140
	0 12	165
	0 14	195
	0 16	225
	0 18	259
Aire en plâtre	0 025	35
	0 050	70
Carrelages légers		65
Carrelages lourds		180
Lambourdes		6 à 10
Parquets chêne		18 à 20
Parquets sapin		13 à 15
Cloisons en briques pleines. Enduits	0 08	145
Cloisons en briques creuses avec plâtre	0 12	145
Pan de bois hourdé en plâtre	0 12	148

Poutres armées. — Lorsque, pour résister à des charges déterminées, on ne dispose pas de bois d'équarrissage suffisant, on

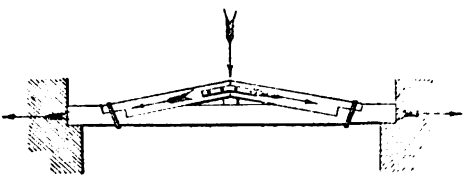


Fig. 710.

constitue la poutre de plusieurs pièces assemblées. Tel est le cas des poutres armées (*fig.* 710 et 711).

[1] D'après *la Charpente* de E. ALDEBERT et E. AUGAMUS.

Pour les poutres, arbalétriers, poinçons, on emploie l'assemblage à crans; pour les pièces verticales, telles que les poteaux

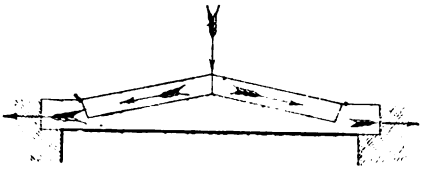


Fig. 711.

corniers, on emploie l'assemblage à endents rectangulaires avec clefs.

L'emploi des poutres armées se restreint de plus en plus.

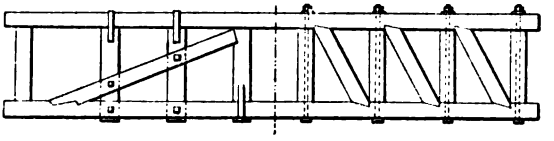


Fig. 712.

Les *poutres américaines* (*fig.* 712) donnent un assemblage qui est une véritable poutre en treillis.

La poutre armée mixte (*fig.* 713) comprend un poinçon, deux

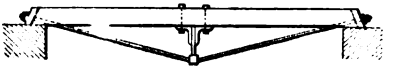


Fig. 713.

bielles en fer rond et une poutre, qui constituent un ensemble indéformable très résistant.

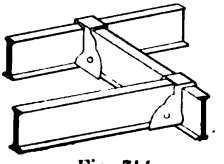


Fig. 714.

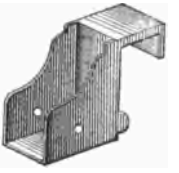


Fig. 715.

On augmente la résistance d'une poutre en disposant, sur les deux faces verticales, des plates-bandes en fer qu'on assemble avec des boulons ou des tirefonds.

Planchers en fer[1]. — Dans une poutre en fer, les parties horizontales s'appellent *semelles*, *tables*, *ailes* ou *nervures*, et la partie verticale s'appelle *âme*.

La figure 716 montre l'assemblage de deux pièces de même

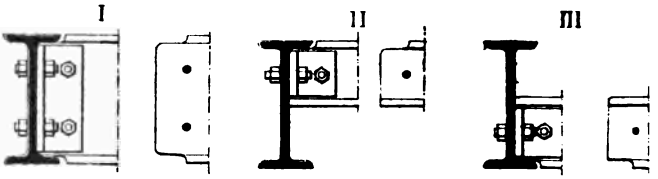


Fig. 716 à 721. — Assemblage de solives égales et inégales.

hauteur[2]; souvent, on fait tomber les parties des tables d'un fer au droit des ailes de l'autre fer, et il n'y a que l'âme d'un fer qui porte sur l'aile inférieure de l'autre fer. Il est préférable de prendre

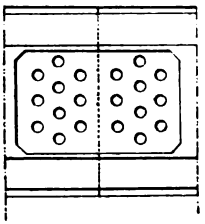


Fig. 722.

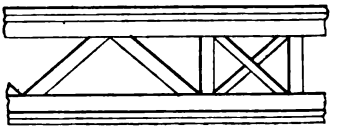


Fig. 723.

pour un des fers une poutre de moindre hauteur. Dans ce cas, la pièce est une *équerre* (bout de cornière), fixée à chaque poutre par deux boulons ; on peut la river à l'âme de l'une des deux poutres; quelquefois on met deux équerres à chaque assemblage.

[1] Voir *Charpenterie métallique*, par L.-A. Barré. Voir aussi p. 257 du présent livre pour le calcul.

[2] L'assemblage des solives de bout en champ s'applique à deux solives dont l'une vient buter contre la surface plane de l'autre. Dans l'assemblage avec des fers cornières ou équerres, boulonnés à la surface de chacune des solives, le poids de la solive formant chevêtre porte sur un simple boulon, et la solive d'enchevêtrement est affaiblie par les trous qu'on y a pratiqués. On coupe souvent les ailes du fer de la solive formant chevêtre pour en faire entrer l'extrémité entre les deux ailes de la solive d'enchevêtrure, afin de soulager le boulon.

M. Liger propose une *boîte en métal* destinée à recevoir la solive formant chevêtre (*fig.* 714 et 715) ; cette boîte, qui s'adapte à la solive d'enchevêtrure, s'y fixe par le haut au moyen d'une courbure formant crochet, et s'y appuie par le bas à l'aide d'un talon. Chacun des côtés de la boîte est percé d'un trou destiné à recevoir au besoin un boulon ou une goupille.

Pour assembler deux poutres d'inégales hauteurs, on peut faire porter la moins haute sur la table inférieure de l'autre ou la faire porter sur une cornière faisant l'office de lambourde accolée (*fig.* 716 à 721, 725 et 726).

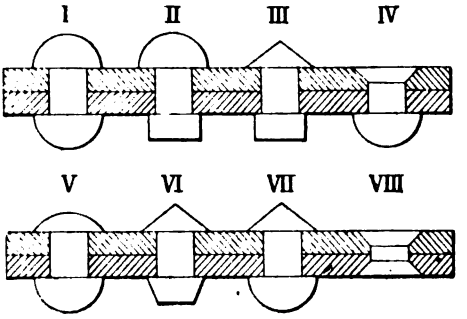


Fig. 724. — Types de rivets.

Lorsque la hauteur de poutre dépasse les dimensions usitées, 0,22 à 0,25, il est économique de faire une poutre en tôle et cornière (*poutre composée*) (*fig.* 727).

Les cornières sont rivées de chaque côté, sur toute la longueur

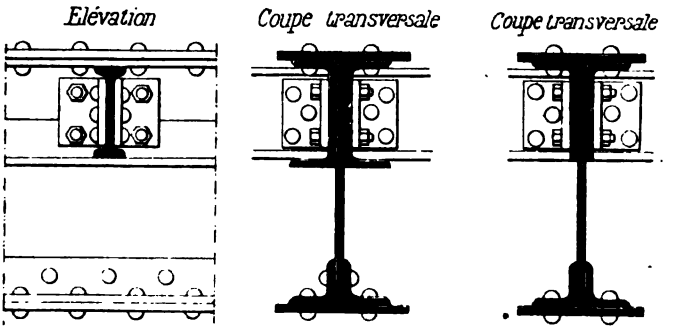


Fig. 725 et 726. — Poutres et solives de plancher assemblées à l'aide de cornières rivées et boulonnées.

des poutres, vers le milieu ; les solives y reposent et sont maintenues par des entrevous voûtés.

Le *couvre-joint* est une plate-bande (*fig.* 722) qui donne à une poutre la résistance qu'elle prendrait par le fait d'un joint d'une de ses tôles.

L'âme d'une poutre composée peut être *pleine*, c'est-à-dire for-

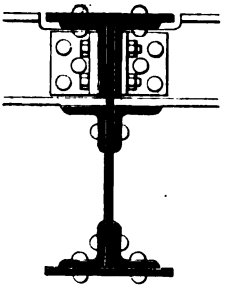


Fig. 727. — Solive et poutre assemblées à l'aide d'une cornière-tasseau.

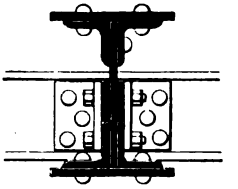


Fig. 728.

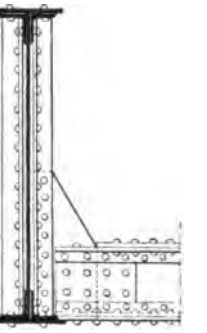


Fig. 729. — Assemblage de 2 poutres de hauteurs très différentes (gousset réuni à l'âme par couvre-joints).

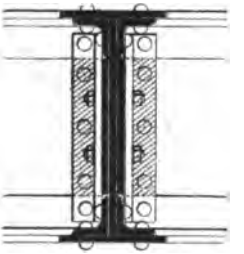


Fig. 729 *bis*. — Assemblage de 2 poutres de même hauteur avec fourrures.

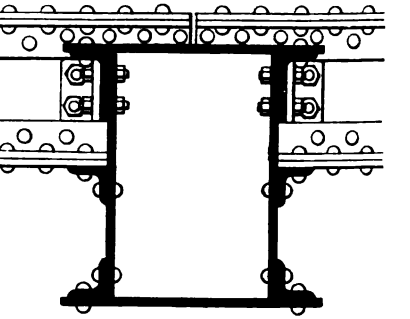


Fig. 730. — Poutres tubulaires recevant des poutres simples.

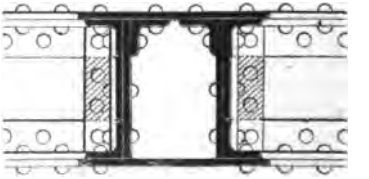


Fig. 731. — Poutres simples assemblées sur poutre tubulaire de hauteurs égales.

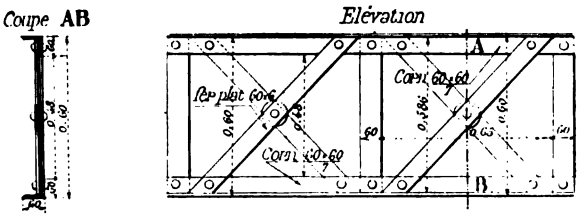


Fig. 732. — Poutre à treillis avec 2 cornières haut et bas.

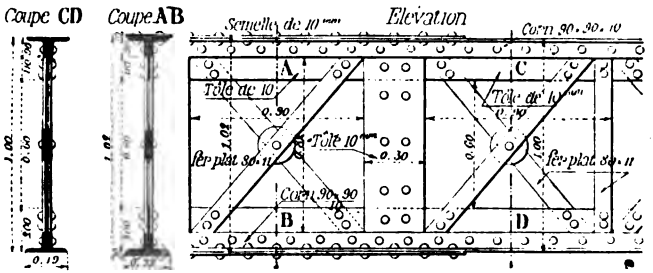


Fig. 733. — Poutre à treillis avec cornières et âmes-nervures.

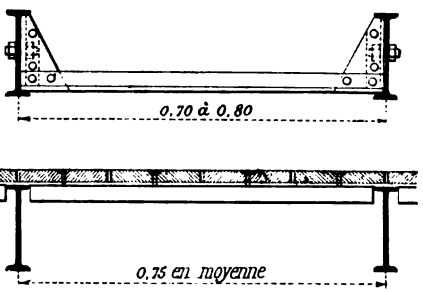


Fig. 734 et 735. — Entretoisement des solives en fer à I (1° fers à simple T entaillés au droit de chaque fer à I et vissés sur ceux-ci ; 2° liaison par goussets).

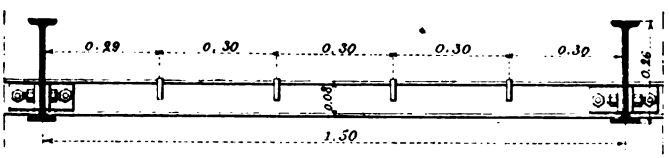


Fig. 736. — Entretoisement de solives en fer à I au moyen d'autres petits fers à I fixés à l'aide d'équerres et boulons.

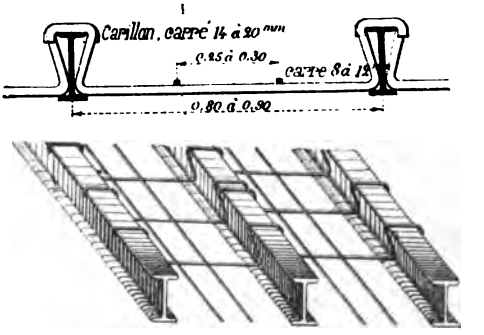


Fig. 737 et 738. — Entretoises, solives et fentons.

Fig. 739 et 740. — Entretoises disposées pour planchers voûtés en briques.

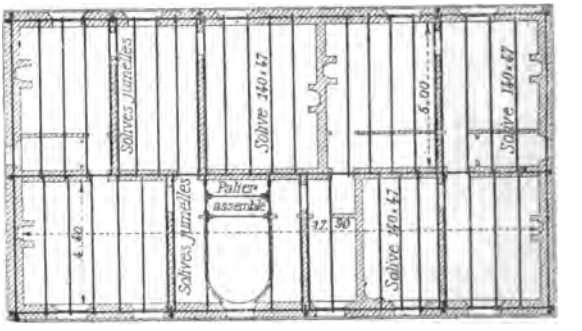


Fig. 741. — Plancher en fer sur solives et jumelles.

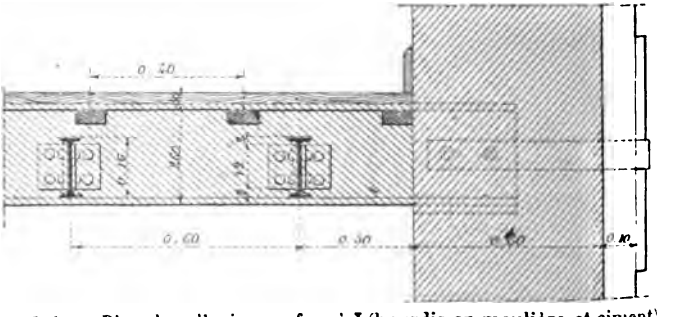


Fig. 742. — Plancher d'usine en fers à I (hourdis en meulière et ciment).

mée d'une tôle continue, ou être évidée, composée de barres disposées en croisillons ou en lacets (*fig.* 723), disposées en treillis (*fig.* 732 avec larges semelles).

Le *gousset* est une plaque de tôle servant à consolider les assemblages d'angle (*fig.* 729).

La *fourrure* est une plaque de tôle qui remplit le vide entre deux parties d'un assemblage.

Si l'on a besoin d'une poutre plus résistante sous une hauteur donnée, on augmente les tables et, pour qu'elles ne se voilent pas, on dédouble l'âme, ce qui donne lieu à la *poutre tubulaire* (*fig.* 730). On peut soutenir les ailes par des montants verticaux (*fig.* 731).

Les solives ou poutres en fer sont fabriquées avec une flèche ou une courbure de 1/200 à 1/300 et, quand on les met en place, on dirige la concavité vers le vide, on appelle cela poser la poutre sur son *raide*. Deux solives consécutives portent, tous les $0^m,70$ ou 1 mètre environ, un *chevêtre* ou *entretoise* (*fig.* 737), en *carillons* (tringles en fer carré) de $0^m,014$ à $0^m,020$, sur les entretoises; parallèlement aux solives, on accroche, tous les $0^m,25$, des fers refendus dits *côtes de vache* ou *fentons*, ou des carillons de $0^m,008$ à $0^m,011$; ce sont de petites tringles qui se recourbent à angle droit pour descendre au niveau de la face inférieure des solives. C'est sur le treillage que forment les fentons qu'on pose le hourdis. L'intervalle entre les solives se trouve ainsi divisé en cases rectangulaires de $0^m,75$ sur $0^m,25$.

Les solives peuvent aussi être réunies par des tirants qui les percent en leur milieu.

Les solives sont généralement des fers à double **T** (I) de $0^m,14$ à $0^m,20$ de haut; elles sont placées tous les $0^m,60$ ou 1 mètre environ ; il en est de même des entretoises qui leur sont perpendiculaires et qui les relient. Les entretoises, en fer carré, s'agrafent dans les murs et sur les solives ; celles en fer rond sont boulonnées.

La hauteur des solives varie entre 1/30 et 1/35 de la portée. On place 2 côtes de vache dans l'entre-deux des solives. La figure 741 représente un plancher en fer. Dans beaucoup de cas on se dispense d'employer un linçoir au-dessus des baies et l'on fait porter les solives en fer sur un linteau.

Il faut éviter d'interrompre les poutres à la rencontre des colonnes, et leur donner la plus grande longueur possible. Les poutres sont généralement deux par deux, entretoisées et serrées contre les colonnes par des boulons. Si les colonnes sont jumelles, on peut mettre une seule poutre, passant entre les 2 colonnes. La portée des poutres, sur les colonnes en fonte, ne doit pas se faire sur l'arête de la console ; il est bon que la surface de pose de la colonne soit légèrement convexe.

Les poutres doivent être engagées de $0^m,15$ à $0^m,30$ et solide-

ment ancrées dans les murs ou contre les colonnes (*fig.* 742).

L'insertion d'une extrémité de poutre dans un mur ne doit pas être considérée comme un encastrement ; car aussitôt que la poutre fléchit, elle s'incline. Il faut, sur l'arête de maçonnerie où repose la poutre (*fig.* 742), sceller dans la pierre une forte cornière qui reçoive la charge et puisse la répartir sur une grande surface et faire reposer la maçonnerie qui charge l'extrémité de la poutre sur une plaque en forte tôle qui reçoive et répartisse l'effort de soulèvement, opposé au précédent.

Lorsqu'on ne redoute pas la transmission du bruit, on peut poser le *parquet*, par exemple en sapin de 34 millimètres, directement sur des fers à double **T**. Il suffit que les solives soient nivelées et maintenues par leurs abouts. On maintient le parquet par quelques clous à crochet enfoncés par dessous et prenant l'aile du fer. Les bois restent aérés par dessous ; il est bon de les goudronner.

Tant que la saillie des poutres en dessous n'est pas un inconvénient, on fait reposer les solives sur les poutres, leur écartement étant maintenu par quelques petits tirants ou par la maçonnerie des entrevous. Dans ce cas il faut prendre les solives très longues ; elles se trouvent encastrées au passage sur les poutres.

S'il est nécessaire de comprendre les poutres ou poitrails dans l'intérieur du plancher, les solives doivent s'assembler latéralement, à moins qu'on ne leur fasse traverser la poutre, ce qui est possible avec les poutres en treillis.

Lorsqu'un *poitrail* en fer est construit, on remplit l'intérieur en maçonnerie de briques reposant sur la semelle inférieure des fers à **T** ; cette maçonnerie se continue jusqu'à la première corniche et reçoit les scellements. Lorsqu'un tuyau de cheminée traverse un poitrail de refend, on donne aux fers un écartement suffisant pour livrer passage au tuyau.

Lorsque plusieurs poitrails doivent être placés à la suite les uns des autres, on peut faire régner les fers sans interruption sur toute la longueur des poitrails. On peut encore les poser isolément et les réunir par des fers plats boulonnés aux fers à double **T** et les ancrer dans la maçonnerie des piles (*fig.* 743 et 744).

Le *cintrage*, ou pose des planches qui doivent maintenir les plâtres jusqu'à la solidification du hourdis de plancher, peut se faire en maintenant les planches par des étayements de boulins. On préfère des serre-joints, pièces en fer à 2 talons, dont une est taraudée (*fig.* 745) ; cette ferrure s'accroche sur l'aile supérieure de la solive, et son talon inférieur soutient les planches et le chevron qui les relie et que l'on serre à l'aide d'un écrou à oreilles. Quand on a établi les pièces du cintrage, on fait le hourdis.

Calcul des planchers. — On calcule le poids uniformément réparti

sur une solive et l'on détermine sa dimension par les formules des pages 201, 205, 233, 257, 271, etc. On calcule le poids réparti

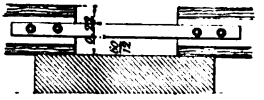


Fig. 743.

Fig. 744.

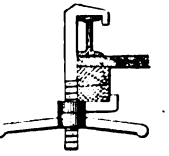


Fig. 745.

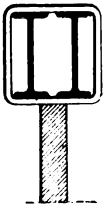


Fig. 746. — Cloison supportée par 2 fers juxtaposés. L'espace qui les sépare (*jumelles*) est hourdé.

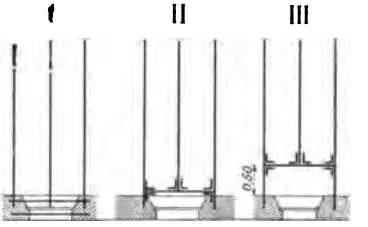


Fig. 747. — Disposition des fers des planchers en face des baies. — I. Solives portant sur linteau en fer au-dessus de la baie. — II et III. Dispositions dans le cas d'appareillage en maçonnerie.

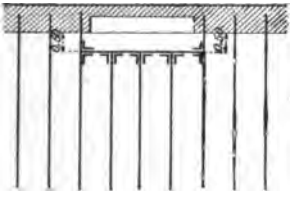


Fig. 748. — Solives assemblées sur chevêtre placé à 0m,50 du nu du mur pour éclairer le sous-sol.

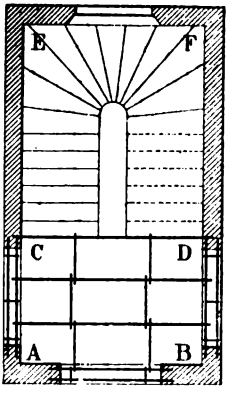


Fig. 749. — Vide CDEF laissé pour le passage d'un escalier.

sur les poutres portant les solives, en remarquant que la poutre supporte moitié du poids total appliqué à chaque solive. Le plus souvent, ce poids peut être considéré comme uniformément réparti.

Pour les constructions légères on suppose une charge totale, compris planchers, de 250 kilogr. par mètre carré de planchers; pour constructions solides, 300 kilogr. pour les salles de bal et de réunions, on suppose une charge de 350 à 400 kilogr. par mètre carré. Pour les édifices publics on prend 400 à 500 kilogr. Le minimum de la charge, pour des entrevous en voûtelles de briques, est de 150 kilogr. par mètre carré.

Il faut s'assurer s'il n'y a pas de charges distinctes résultant de ce que l'on aurait pris des points d'appui sur le plancher, résultant de charges exceptionnelles : ateliers, magasins, etc. Si elles sont momentanées, on pourra porter la résistance du fer à 7 ou 8 kilogr. par millimètre carré de section ; si elles sont permanentes, on ne dépassera pas 5 à 6 kilogr.

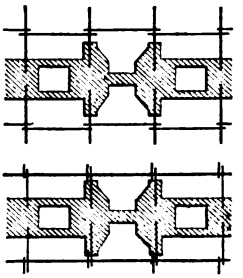


Fig. 750. — Solives de plancher disposées à l'endroit d'une cheminée.

La hauteur des solives d'un plancher en fer varie entre les 3/100 et les 4/100 de la portée.

La résistance d'une solive, ou sa charge, par mètre carré est proportionnelle à son moment d'inertie, et inverse de la quatrième puissance de sa portée. On a donc avantage, pour diminuer les flexions, à réduire la portée, plutôt qu'à accroître le moment d'inertie en augmentant la hauteur de la pièce.

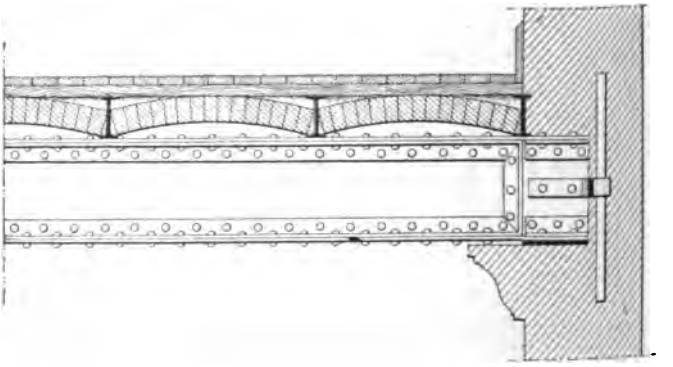


Fig. 751. — Plancher en fer dont les solives sont directement placées sur les poutres.

Observations. — En cas d'incendie, les solivages en fer sont préservés de rougir par la maçonnerie des entrevous ; les poutres sont plus exposées, si elles sont saillantes.

Il est prudent de ménager, dans les assemblages des fermes sur les colonnes, un jeu pour parer aux contractions ou de laisser les colonnes assez libres pour qu'elles suivent la déformation des fermes.

Charges par mètre carré de planchers en fer et surcharge accidentelle (*d'après Joly et Joly fils*)

	PIÈCES	Épaisseur du plancher	CHARGES PAR MÈTRE CARRÉ — PLANCHERS hourdés en plâtras			PLANCHERS hourdés en briques creuses		
			Poids du plancher	Surcharge	Charge totale	Poids du plancher	Surcharge	Charge totale
		m.	k.	k.	k.	k.	k.	k.
	Maisons ordinaires	0,30	275	75	350	225	75	300
Grandes maisons	Etages lambrissés sous combles, chambres à coucher à tous les étages, cabinets.	0,30	275	75	350	225	75	300
Grandes maisons	Salons et pièces de réception (spécialement les 3e et 4e étages)	0,35	300	100	400	245	105	350
Grandes maisons	Grands salons et pièces de réception (spécialement les 1er et 2e étages)	0,35	320	130	450	260	140	400
Grandes maisons	Magasins ou boutiques du rez-de-chaussée, pour marchandises d'un faible poids.	0,35	300	200	500	245	205	450
Édifices publics	Bureaux, salles ordinaires	0,30	275	175	450	225	175	400
Édifices publics	Salons pour assemblées ordinaires	0,35	300	200	500	245	205	450
Édifices publics	Salons pour grandes réunions	0,40	320	280	600	260	290	550

L'épaisseur d'un plancher ordinaire en fer de 4 à 5 mètres de portée se décompose comme suit, en moyenne :

Solive en fer double T	0m,16	0m,27
Crépi et enduit de plafond, sans solive	0m,03	
Du dessus de la solive au dessus de la lambourde.	0m,053	
Parquet ordinaire	0m,027	

Poids au mètre superficiel de différents éléments de planchers et des parties de construction qui les chargent

	kilogr.
Parquet de chêne de 0m,027	23,00
— de sapin —	17,00

Lambourdes pour parquet à l'anglaise	5.50
— — point de Hongrie	6.75
— — retourné en tous sens	11.00
Cloison légère de 0m,08, compris enduits	110,00
— de 0m,08 en brique sur champ, compris enduits	140.00
— de 0m,15 — — —	263,00
— de 0m,25 — — —	438.00
— de 0m,35 — — —	613,00

Poids et prix par mètre carré d'un plancher de 4 mètres
(*Prix de la série de la Société centrale des Architectes*)

MATÉRIAUX	POIDS PAR MÈTRE	QUANTITÉS POUR 1 M. CARRÉ de plancher	POIDS TOTAL	PRIX D'UNITÉ	TOTAUX
	k.	m.	k.	fr.	fr.
Fer double T 140 millimètres	13	1,33	18,60	0,24	4,46
Entretoises 14/14	1,53	3,00	4,59	0,32	1,50
Fentons 9/9	0,631	4,00	2,52	0,19	0,48
Hourdis et scellement de lambourdes 160/100 de léger	»	1m2,00	180,00	4,00	6,40
Lambourdes 34/8 scellées	»	2m,25	12,50	0,55	1,25
Parquet chêne 27 millim. replani	»	1m2,00	23,00	10,00	10,00
Soit, par mètre carré : Poids			241,21	Prix	24,09

Poids et prix par mètre carré d'un plancher de 6 mètres

MATÉRIAUX	POIDS PAR MÈTRE	QUANTITÉS POUR 1 M. CARRÉ de plancher	POIDS TOTAL	PRIX D'UNITÉ	TOTAUX
	k.	m.	k.	fr.	fr.
Fer double T 200 millimètres	22	1,33	29,36	0,24	7,02
Entretoises 14/14	1,53	3,00	4,59	0,32	1,50
Fentons 9/9	0,631	4,00	2,52	0,19	0,48
Hourdis et scellement de lambourdes 160/100 de léger	»	1m2,00	180,00	4,00	6,40
Lambourdes scellées	»	2m,25	12,50	0,55	1,25
Parquet chêne replani	»	1m2,00	23,00	10,00	10,00
Soit, par mètre carré : Poids			251,87	Prix	26,65

Les prix des planchers assemblés se composent :

1° Du prix du plancher proprement dit, semblable aux planchers ordi-

naires; mais, en comptant les fers comme assemblés, à 0 fr. 28, au lieu de 0 fr. 24 le kilogramme.

2° Du prix des filets en fer double T..... 0 fr. 30 le kilogr.
Ou des poutres en tôle et cornières..... 0 fr. 50 —

Poids et prix par mètre carré des accessoires des planchers en fer double T

MATÉRIAUX : CHARGE, 400 KILOGR.	POIDS	PRIX
	k.	fr.
Entretoises 14/14	4,50	1,50
Fentons 9/9	2,52	0,48
Hourdis, plafond, etc	180,00	6,40
Lambourdes scellées	15,00	1,25
Parquet	23,00	10,00
TOTAUX	225,02	19,63

Poids et prix par mètre carré des solives employées dans les planchers courants

PORTÉES	FERS DOUBLE T DE	SOLIDITÉ ORDINAIRE	
		POIDS	PRIX
		k.	fr.
2 mètres	80 pesant 7 »	9,31	2,23
3 —	100 — 9 »	11,97	2,87
4 —	120 — 10,50	13,96	3,35
5 —	160 — 15 »	19,95	4,79
6 —	180 — 19,50	25,93	6,22
7 —	200 — 22 »	29,26	7,02
8 —	220 — 25,50	33,91	8,14

Planchers en acier. — Les poutrelles en acier doux sont environ 1/2 fois plus résistantes que celles en fer; le prix de l'acier étant très peu supérieur, il y a une économie sensible à les employer. Ces poutrelles peuvent, par suite, être faites plus légères [*Fers à planchers* (tableaux), voir p. 214 à 219 et 265. — Prix, voir p. 172].

Hourdis de planchers, aires, enduits de plafond. — Après avoir fait le lattis jointif inférieur, on larde les solives de clous à bateaux et, après avoir serré des planches contre les lattis, on coule du plâtre ($0^m,04$ à $0^m,05$ d'épaisseur) que l'on a soin de relever sur les bords. La façon du lattis supérieur et de l'aire en plâtre suivent. Pour les lieux habités on fait sous le lat-

tis un gobetage, un crépi, en appliquant le plâtre à la taloche, puis un enduit qui termine le plafond auquel on ne donne pas plus de 0m,03 d'épaisseur. Le plafond se fait au moment du ravalement intérieur.

Le parquet peut être posé directement sur l'aire en plâtre de 0m,04 à 0m,05 d'épaisseur, mais le plus souvent on le cloue sur des *lambourdes* en chêne (de 0m,034 ou 0m,041 sur 0m,08), clouées elles-mêmes sur les solives (*fig.* 752 à 754).

Les planchers en fers au-dessus des caves sont hourdés en briques pleines ou creuses. Les étages supérieurs sont hourdés en plâtre, plâtras ou éclats de moellons tendres. Les augets sont butés contre les ailes des solives. Les lambourdes sont placées sur des *murettes*, en plâtre (reposant sur hourdis) qu'on lie par des chaînes en plâtre de distance en distance. On fait, surtout pour rez-de-chaussée, des poteries creuses, voûtains ou petits arcs en terre cuite ou en plâtre, qui donnent un hourdis très léger. Ces hourdis isolants suppriment les entretoises et fentons. Le plafond s'exécute sans lattes sous le hourdis [1].

Si le plancher est plein, on peut poser le *carrelage* directement dessus ; dans le cas contraire, on le pose sur une aire en plâtre de 0m,04 faite sur un lattis reposant sur les solives. Les parquets se posent généralement sur le hourdis ou se fixent sur des lambourdes espacées de 0m,40 à 0m,50.

Une aire en plâtre, de 0m,025 d'épaisseur, vaut le mètre superficiel	1 fr.	24
Pots ou *globes* pour planchers (64 au mètre superficiel) : De 0m,11, 0m,14 et 0m,16 de diamètre, le mille	60, 65 et 70	»
Pots à tabatière, de 0m,16 de diamètre et 0m,06 de haut	75	»
Tubes en terre pour planchers et voûtes, 0m,07 et 15 × 30 ou de 0m,11 et 0m,11 × 30, le mille	106	25
de 0m,45 et 15 × 30 — le mètre superficiel	5	»
de 0m,45 et 15 × 30 — le mille	80	»
de 0m,45 et 15 × 30 — le mètre superficiel	4	»
Tubes en plâtre pour planchers, le mille	103	»

Les *lambourdes* en chêne flotté de 0,027 × 0,07 à 0,08, valent 0 fr. 40 le mètre linéaire ; de 0,034 × 0,07 à 0,08, elles valent 0 fr. 48.

Le *lambourdage* sur bitume, pose et scellement des lambourdes avec augets et solins, vaut 3 fr. 25 à l'anglaise, 3 fr. 45 à point de Hongrie et 4 fr. 40 retourné sur tous sens, le mètre superficiel.

Les *lambourdes* scellées en plâtre avec tranchées dans l'aire, ou scellées sur petits murs, valent 1 fr. 40 le mètre linéaire.

Le scellement de lambourdes en plâtre avec solives des deux côtés, chaînes en travers, en plâtras de 0m,50 de longueur, vaut 1 fr. 75 le mètre superficiel.

[1] On doit éviter la butée des hourdis de planchers contre les murs, au droit de scellement des solives. Il faut un vide de 0m,05 à 0m,10 près de ces murs.

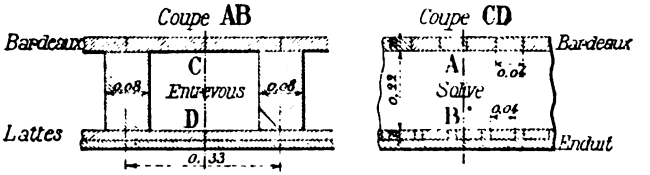


Fig. 752. — Hourdis de plafond en bois.

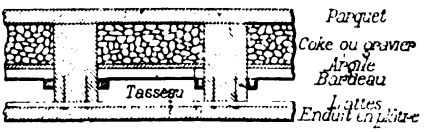


Fig. 753. — Hourdis avec solives non apparentes.

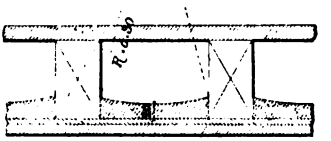


Fig. 754.

Fig. 755. — Plancher en fer avec voûte en briques pleines.

Fig. 756. — Plancher en fer avec voûtes en briques creuses.

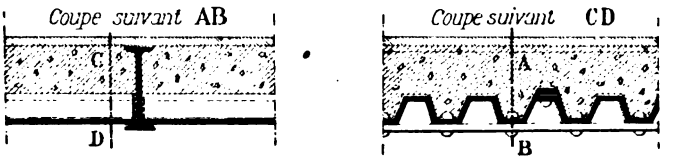


Fig. 757. — Hourdis en béton.

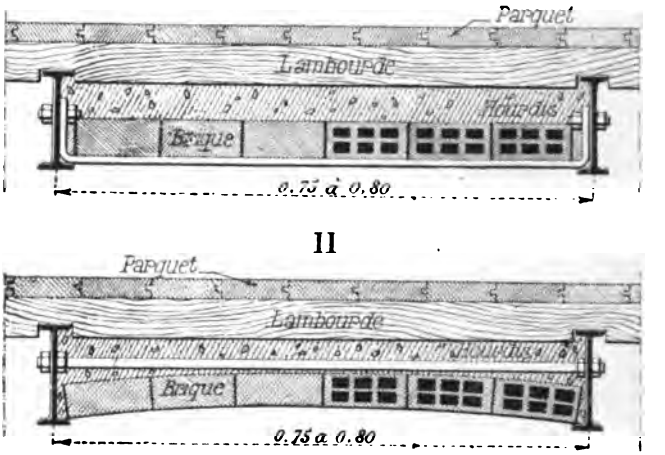


Fig. 758. — Hourdis en briques pleines et creuses.

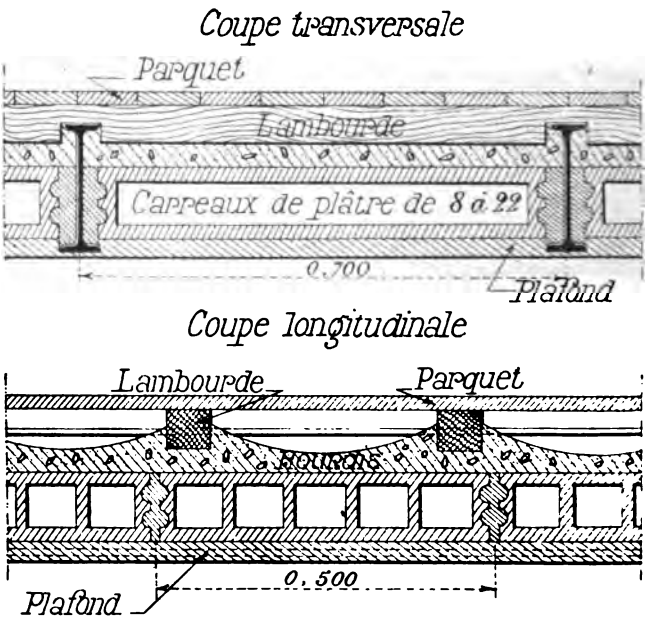


Fig. 759. — Hourdis en carreaux de plâtre (solide et économique).

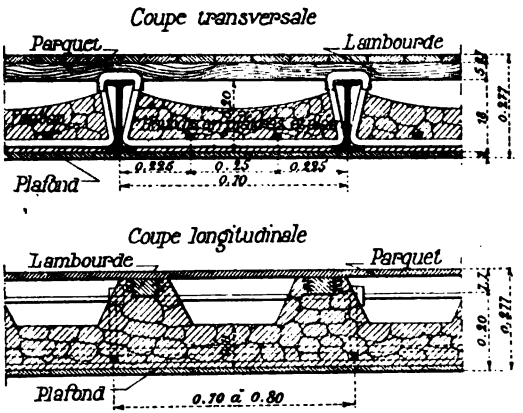


Fig. 760. — Hourdis en plâtre et plâtras.

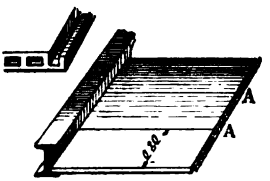


Fig. 761. — Bardeaux creux de la Société des tuiles isolantes en poteries (pour planchers) s'emboîtant les uns dans les autres; ces bardeaux peuvent se déplacer isolément, ce qui facilite les réparations et visites.

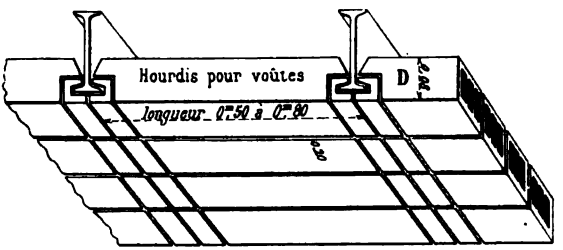


Fig. 762.

Le scellement des lambourdes au bitume vaut 4 francs le mètre linéaire.

Les hourdis en *briques creuses*, posées suivant un plan horizontal, peuvent, en posant les briques à plat, se réduire à l'épaisseur de 0m,055. En les posant de champ, on a 0m,11 d'épaisseur. Ce hourdis est peu sonore, moins humide que celui en plâtre, mais ne pèse guère moins. Il se place sur une aire en planches comme le plâtras et peut recevoir directement, sans lattes, l'enduit du plafond.

Les hourdis en *carreaux creux en plâtre* sont légers, les vides y occupant 40 0/0 du volume. Ils se fabriquent entre 0m,10 et 0m,22 de haut et permettent d'économiser les fentons et une partie des chevêtres.

Le hourdis (avec dallages, de 0m,10 d'épaisseur, établi au rez-de-chaussée, compris frais de cintres, mais sans enduits sous les voûtes) composé : 1° d'un béton de 0m,08 d'épaisseur, comprenant 350 kilogr. de ciment de Portland pour 1 mètre cube de gravillon lavé; 2° d'un enduit plastique, uni et bouchardé, de 0m,02 d'épaisseur, vaut 12 fr. 50 le mètre superficiel.

Il faut environ 2 heures d'un maçon avec un garçon pour exécuter 1 mètre carré de plafond.

Le hourdis Derain et Dinz se compose : 1° des *coulisseaux* CC (*fig.* 762), placés de chaque côté de l'aile du fer, blindant l'aile inférieure de la solive en fer et permettant sa dilatation ; 2° une *brique creuse* D, entaillée à ses extrémités ; ces entailles emboîtent les coulisseaux C. Largeur, 0m,20 ; épaisseur, 0m,08 ; cette brique se fabrique de 0m,50 à 0m,75 de long. Il en faut 5 par mètre courant de travée.

Le prix du mètre superficiel, sur wagon à Chalon-sur-Saône, est de 2 fr. 50. Le mètre carré de hourdis pèse 50 kilogr. ; le mortier pour scellement de la même surface 15 kilogr.

Quand on ne tient pas à ce que le plafond forme paleçon, on place les coulisseaux ; puis, entre ceux-ci, on appareille des briques galandages formant la même épaisseur que les coulisseaux, soit 36 millimètres. Les briques galandages ont 0m,30 de long sur 0m,15 de large ; il ne s'agit plus que d'appareiller avec ces briques toutes largeurs de travée, depuis 0m,40 jusqu'à 0m,70 d'axe en axe des fers.

Le mètre superficiel sur wagon, à Châlon-sur-Saône, est de 2 fr. 50. Le mètre carré de coulisseaux et briques de 36 millimètres est de 28 kilogr. ; le mortier pour scellement de la même surface, 7 kilogr.

Le hourdis Paupy, léger et insonore, supprime les fentons et entretoises. Son poids, posé, est de 70 kilogr. par mètre carré, pour une épaisseur de 0m,085.

Ces hourdis se placent immédiatement dans le vide, quel que soit l'écartement des solives. Le plâtre fait le serrage et l'on peut monter ou descendre les panneaux hourdis, suivant les besoins. Le prix de ces hourdis est de 2 francs le mètre carré ; la pose revient à 1 franc et on emploie pour 0 fr. 50 de plâtre pour scellement.

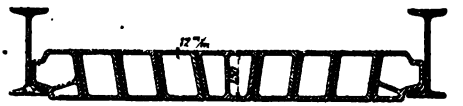


Fig. 763.

Les planchers américains se construisent en briques creuses fabriquées à la presse hydraulique (*fig.* 763 à 765).

L'épaisseur varie de 0m,15 à 0m,375, avec des portées de 1m,20 à 2m,30. Le poids, fer non compris, va de 125 à 200 kilogr.

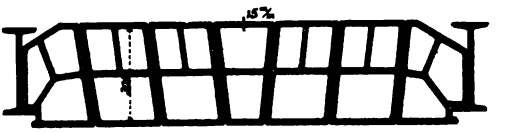


Fig. 764.

par mètre carré. Le poids de fer varie de 25 à 70 kilogr. par mètre carré. D'après M. E. Cutshaw, la charge de rupture des voûtains (*fig.* 763 et 764) est, pour 0m,15 d'épaisseur, 1.400 kilogr. par mètre carré 1 ou 2 jours après la pose, et 2.200 à 2.700 kilogr. une semaine après. Pour l'épaisseur de 0m,30, la charge de rupture va de 2.500 à 5.000 kilogr. par mètre carré.

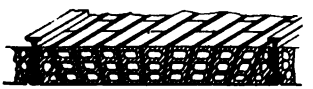


Fig. 765.

Fig. 766.

La figure 766 montre un autre plancher américain en béton et fers en I de petit calibre ; des pièces tubulaires en ciment sont intercalées sous le béton pour alléger le plancher.

Le **béton de liège**, produit très léger, s'emploie pour hourdis ; on coule une épaisseur de 0m,10, une fois le cintrage établi, et, lorsqu'il est pris, on fait des solins en plâtre ou mortier dans l'espace laissé vide sous l'aile des fers, et l'on recouvre la surface

inférieure d'une couche légère de plâtre ou de mortier, qui constitue le plafond apparent. 1 mètre carré de hourdis en béton de liège, sur 0m,10 d'épaisseur, ne pèse que 50 kilogr. (contre 215 kilogr. dans le cas de hourdis en plâtre et plâtras). La résistance de ce hourdis en béton de liège est de 1.200 kilogr. par mètre carré; il coûte en place 3 fr. 10 le mètre carré.

Le *simili-liège*, corps isolant, sert pour le même usage.

Planchers en verre (*fig.* 767). — La Société des Glaces de Saint-Gobain fabrique :

1° *Dalles quadrillées*, qui varient soit de 3 en 3 centimètres, soit de 4 en 4 centimètres, les deux dimensions du rectangle pouvant atteindre 0m,60. L'épaisseur varie de 10 à 35 millimètres et le poids du mètre carré est de 50 à 80 kilogr. Ces dalles présentent, sur une face, des parties saillantes décoratives (qui s'opposent au glissement) de 3 à 5 millimètres d'épaisseur *biseautées* et affectant la forme de carrés, de triangles ou de losanges. Elles se posent dans des châssis en fer simple **T**, avec un jeu de 3 à 4 millimètres au pourtour. La face supérieure doit s'élever au-dessus du bord du châssis de toute l'épaisseur du relief (3 à 5 millimètres). La dalle est posée de niveau et assujettie par des cales en bois; puis elle est fixée, avec du mastic de vitrier ou du ciment, pour *dallages en plein air*, avec du plâtre coulé au fond de la feuillure et du ciment dans les joints montants, pour *carrelages abrités ;*

Fig. 767. — Pose de dalles de verre.

2° *Dalles brutes*, de toutes dimensions, d'une épaisseur de 14 à 30 millimètres, dont la surface vue ou supérieure est rugueuse. Ces dalles quadrillées ou de surface continue sont fixées dans des châssis en fer avec du mastic ou du ciment et s'emploient pour l'éclairage des sous-sols.

3° *Pavés en verre.* — Cubes de 15 centimètres d'arête, pesant 9 kilogr., employés pour éclairer les sous-sols, sous les passages fréquentés par les voitures. La face *vue* ou *en service* peut affecter divers reliefs. Les pavés en verre, comme les dalles, sont appliqués dans des châssis en fer à simple **T** et fixés avec du mastic ou du ciment.

La Compagnie de Saint-Gobain donne, comme coefficient à la rupture de ses dalles, R = 250 kilogr. par centimètre carré de section.

Dalles en verre unies ou quadrillées

De 20 à 24 millimètres d'épaisseur le mètre carré.	. .	40 fr.
De 25 à 29 —	. . . . .	50 »
De 30 à 34 —	. . . . .	60 »

Pavés en verre, pièces moulées, dalles brutes

De 0m,035 et au dessus, le kilogramme. . . . . 0 fr. 90

Coton minéral. — Le coton minéral, qui a l'aspect de la ouate, s'obtient par l'injection d'un jet de vapeur dans la coulée des laitiers des hauts-fourneaux. C'est une matière peu coûteuse que l'on emploie dans les planchers comme interceptrice du son. Elle est incombustible.

Plancher en fer et ciment. — On tire un grand parti de l'emploi simultané du fer et du ciment pur ou mélangé de sable, de gravier ou de cailloux. L'adhérence du ciment au fer est très grande et le ciment protège le fer contre la rouille et les dangers d'incendie. D'après Durand-Claye, la charge d'écrasement par centimètre carré est de 72 kilogr., et la résistance à la tension est inférieure à 8 kilogr. par centimètre carré.

Pour les ciments à prise lente (portland de Boulogne), après 5 jours de prise, ils présentent une résistance à l'écrasement de 107 kilogr. par centimètre carré et de 12 kilogr. à l'arrachement. Après un mois, ces deux efforts deviennent 225 kilogr. et 17 kilogr. Quant au fer pour planchers, sa charge de rupture à l'extension est de 2.500 à 4.500 par centimètre carré, c'est-à-dire 25 à 45 fois plus grande que celle du ciment. La charge de compression est encore plus grande. Ces différences de résistance sont une difficulté dans la liaison des deux matières dans un plancher.

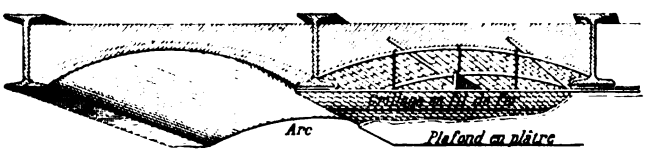


Fig. 768.

A la gare de Philadelphie, les planchers, les cloisons et les revêtements des pièces métalliques sont un treillis de fer revêtu de béton de ciment.

La figure 768 correspond (à droite) au cas où les deux surfaces — supérieure et intérieure — du plancher doivent être planes. Le treillis métallique — grillage raidi par des barres longitudinales, — courbé en arc de cercle, s'appuie sur les semelles inférieures des solives, et le béton de ciment est coulé par dessus. Le plafond de l'étage au dessous est, de même, formé d'une carcasse métallique accrochée aux poutres, ou raidi par une cornière longitudinale et relié au grillage supérieur par des tirants verticaux, et d'une légère couche de plâtre ou de béton. Lorsque le plafond plat doit être remplacé par des voûtains, on adopte le dispositif de gauche de la figure 768.

Les *cloisons de refend* sont établies sur le même principe : des cornières verticales, contre lesquelles s'applique le grillage renforcé par des tiges horizontales — tous les $0^m,19$ — et un revêtement de béton sur les deux faces ; le tout mesure $0^m,051$ d'épaisseur.

MM. Ed. Coignet et N. de Tedesco ont fait remarquer que le principe qui consiste à noyer un quadrillage en fer ou en acier dans les constructions en ciment se prête à toutes les formes.

Ces ouvrages, à résistance égale, sont moins épais et plus légers que les maçonneries. Leur faible poids permet de les supporter par des appuis moins solides. Ils sont élastiques, imperméables, se comportent parfaitement vis-à-vis du feu.

M. P. Cottancin forme, avec un fil en fer ou en acier, une chaîne continue et tisse cette chaîne avec une trame constituée de la même manière. La toile, ainsi formée, est munie, sur tout son pourtour, de boucles qui relient les diverses parties du treillis. Les boucles arrêtent les treillis sur les côtés, en recevant une tige métallique rigide. Ce treillis est recouvert d'une couche de ciment de quelques centimètres.

Pour permettre à ces ouvrages les grandes portées et les fortes charges, M. P. Cottancin leur adjoint des épines contreforts qui découpent leur surface inférieure en caissons accolés. Ces nervures sont constituées par une trame métallique noyée dans du ciment, mais posée de champ pour résister à la flexion. La trame verticale des nervures est reliée maille à maille à la trame horizontale de la plaque. Un fer plat longe inférieurement l'épi. Ces nervures constituent de véritables poutres à treillis. Le treillis noyé dans un ciment avec attaches manque de stabilité. Avec la plaque Cottancin, au contraire (*fig.* 769 à 772), fixée en *ab* et en *ef* et où l'on accroche des poids P et P′ en *b′c′* et *d′e′*, il sera impossible d'arracher les tiges *cc′*, *dd′*, sans rompre le fil en *ab*, *b′c′*, *d′e′*, *ef* : ainsi, dans les systèmes à attaches ou encoches, le ciment travaille à la compression et à la traction : dans le système Cottancin il ne travaille qu'à la compression, par suite de la suppression des attaches.

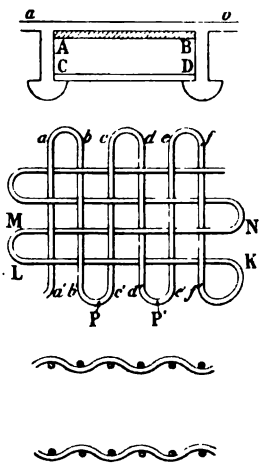


Fig. 769 à 772.

Avec le système Hennebique il faut une épaisseur de $0^m,15$ de ciment et une section de $0^{m2},0012$ de fer pour porter une charge de 1.200 kilogr., sans que la limite d'élasticité soit atteinte.

Avec le système Cottancin il suffit de $0^m,032$ d'épaisseur de ciment et de $0^{m2},0004$ de section ; avec une portée de 1 mètre, cette dernière plaque, de $0^m,40$ de large et $0^m,04$ d'épaisseur, et de même section de métal, supporte en son milieu 1.220 kilogr.

Dans les planchers faits avec ce système on emploie des fils de $0^m,004$ de diamètre et des plaques de $0^m,04$ d'épaisseur, et on ne laisse pas sans épi des largeurs supérieures à $1^m,30$. Sous cette condition, l'architecte peut croiser ses nervures comme il l'entend et obtenir pour les plafonds des combinaisons variées. Dans bien des cas, ce plancher peut suffire sans l'adjonction de parquet, carrelage ou remplissage ; le ciment joue alors le rôle de carrelage et présente l'avantage de pouvoir être lavé avec des solutions antiseptiques. Si l'on veut un parquet, on peut incruster, pendant qu'on coule le ciment, de faibles lambourdes, autour de l'ossature métallique, sur lesquelles on fixe le parquet.

Pour éviter la sonorité de ces parquets, on dispose, dans les caissons formés par les nervures inférieures, des plaques de plâtre à ossature métallique légère, ayant exactement la section de ces caissons (*fig.* 769). Pendant la construction du plancher en ciment, ces plaques, soutenues par de petits tasseaux en bois reposant sur les taquets des épines, occupent la position AB ; quand le plancher est établi, on les fait descendre en CD ; un véritable matelas d'air se trouve alors emprisonné au-dessous du plancher. Les plaques CD peuvent être peintes ou décorées d'ornements en verre ou en céramique.

Le système P. Cottancin peut être appliqué aux combles. Il suffit de remplacer la charpente par une voûte mince à nervures. La couverture en ciment peut être laissée apparente, ou bien on l'y encastre directement, à bain de mortier, des ardoises, des morceaux de verre ou des plaques de céramique. A l'extérieur, on dispose une double paroi analogue à celle dont nous avons parlé pour les plafonds ou une contre-voûte en briques de liège. On obtient ainsi des combles assez isolés de l'extérieur. Les lucarnes et baies pratiquées dans ces voûtes ne les affaiblissent pas, parce que les joues sont constituées par des épis qui rachètent l'affaiblissement produit par le vide.

Les murs peuvent être construits en fer et parallélipipèdes de bois, pierre, verre, bitume, céramique ou toute autre matière plastique.

Poutres mixtes en fer et en bois. — Des constructeurs assemblent quelquefois, pour constituer un poitrail un fer laminé à double **T** symétrique avec 2 pièces de bois de section rectangulaire, le tout réuni par des boulons. Il n'est pas judicieux ni économique d'assembler des matériaux qui présentent des coefficients d'élasticité aussi différents que ceux du fer et du bois, et ce système n'est pas à encourager.

Parquets. — Les aires de planchers se dallent ou se recouvrent d'un assemblage jointif de planches de chêne ou de sapin, entières ou refendues, placées en divers sens et bien assujetties sur les lambourdes ou directement sur les solives. Ces planches corroyées sont jointes à rainures et languettes.

Les planches refendues ou en *alaises*, formant les *planchers à frises*, sont les plus solides ; on divise la surface du plancher en

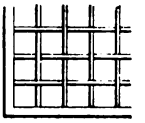


Fig. 773.

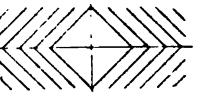
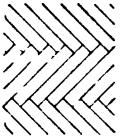


Fig. 774.

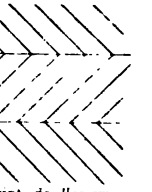
travées, suivant la longueur des bois, que l'on réunit par des frises placées en sens contraire, dans lesquelles s'assemblent les extrémités des alaises ou frises (*fig.* 774 à 776). Dans les parquets *à l'anglaise*, les frises sont parallèles. Les parquets ont ordinairement 0m,027 d'épaisseur; les frises ont de 0m,06 à 0m,11 de largeur.

Pour former un plancher à point de Hongrie, on établit une frise autour de la pièce, qui sert d'encadrement à l'ensemble du



Bâtons rompus

Fig. 775.



Point de Hongrie ou fougère.

Fig. 776.

plancher. On divise l'espace entre les deux frises longitudinales en un nombre impair de parties égales dont la largeur varie de 0m,75, 0m,78 à 0m,92, afin de produire des diagonales de 1 mètre à 1m,30 de long. Pour 0m,974 de long, les planches doivent avoir 0m,08 de large ; pour 1m,30 de longueur, 0m,10 de large. Les planches doivent former entre elles un angle droit.

Le parquet à *la gourguechon* se pose au rez-de-chaussée et endroits humides (*fig.* 777). Les lambourdes sont noyées dans le bitume ; on fait un autre genre de plancher où les frises sont directement scellées dans le bitume. Le bitume sous parquet ne s'emploie jamais pur ; on mélange 1kg,70 de brai de gaz, 24 kilogr.

de bitume et 12 kilogr. de gravier pour 1 mètre superficiel de parquet.

Un *parquet sans fin*, ou *parquet d'assemblage*, est composé de morceaux de bois assemblés à tenons et mortaises et formant des feuilles carrées de 0m,974 à 1m,212, composées de bâtis et de panneaux arasés ; l'épaisseur des diverses pièces varie de 0m,027 à 0m,054. Il faut éviter la multiplicité des *joints d'onglets* (joints coupés diagonalement, suivant l'angle de 45°). Les panneaux sont assemblés dans les traverses à rainures et languettes. Les parquets à *petites feuilles*, à *grandes feuilles* et *compartiments*, composés de frises assemblées et de panneaux de remplissage (*fig.* 773), se construisent comme les précédents.

Fig. 777.

Si l'on ne met pas de frise courante au pourtour de la pièce, il en faut pour encadrer le marbre de la cheminée.

On emploie, pour les feuilles de parquet, du *merrain*, bois de chêne du Nord, fendu et non débité à la scie, qui a 1m,30 à 1m,46 de long sur 0m,034, 0m,041 ou 0m,047 d'épaisseur et 0m,135 à 0m,62 de large.

Si le parquet est dans un bâtiment neuf, on pose les lambourdes (pièces de bois de 0m,054 à 0m,08 de grosseur, scellées et arrêtées sur les solives du plancher pour porter le parquet) un peu *bouges*, c'est-à-dire un peu relevées vers le milieu de la pièce, afin que, lors du tassement, elles soient de niveau.

Le parquet est fixé sur ces lambourdes avec des pointes sans tête chassées dans l'épaisseur des frises.

Il faut, autant que possible, éviter l'emploi des *fourrures*, petites pièces de bois qu'on met sur les lambourdes pour racheter un niveau insuffisant. Le bois pour parquet doit être sans aubier, fentes ni gerçures.

Il est préférable de poser les planchers en été et par un temps sec. Quand un parquet est posé, on le couvre de copeaux ou autre matière pour empêcher son exposition brusque à l'air vif. Dans les planchers posés dans un rez-de-chaussée, pour empêcher le bois de pourrir, on fait de petites ouvertures aux murs de façade qui établissent des courants d'air au-dessous du plancher. Le bois sur lequel on applique une couche d'acide pyroligneux se conserve à l'humidité.

On durcit le bois, en y introduisant du sulfate de cuivre, de l'huile de lin, de la graisse, etc.

Pour *teindre le bois en rouge*, on réduit en poudre 122 grammes de bois du Brésil qu'on fait bouillir jusqu'à réduction de moitié dans 0lit,568 d'eau ou de vinaigre avec 30gr,59 de crème de tartre et autant d'alun.

Pour teindre le bois en *jaune*, on le plonge dans une décoction de gaude, et l'on ajoute un peu de soude.

Pour le teindre en *noir*, on le plonge dans un mélange d'acide sulfurique et d'eau, ou en faisant bouillir le bois dans l'huile de lin et en le frottant ensuite d'acide sulfurique ; de même, en le faisant bouillir dans une décoction de 1 partie de noix de galle, 1 de sulfate de fer et 3 de bois de Campêche ; de même, en frottant le bois avec de la limaille de fer bouillie dans du vinaigre.

Parquets

	Prix du mètre carré
Merrain, chêne du Nord, frises de 0m,06 à 0m,08.....	11 fr. 50
Chêne de Hollande, frises de 0m,06 à 0m,08.....	10 »
— frises de 0m,09 à 0m,11.....	9 50
Chêne ordinaire, frises de 0m,027 sur 0m,06 à 0m,08...	6 fr. » à 3 fr. 75
— — sur 0m,09 à 0m,11...	5 75 à 3 75
— frises de 0m,034 d'épaisseur, toutes largeurs.....	7 fr. 50
Pitchpin, frises de 0m,027, toutes largeurs.....	4 »
Sapin, frises de 0m,08 à 0m,11, de 0m,025 d'épaisseur.	2 »
Parquet à l'anglaise, frises de 0m,085 à 0m,11, sapin, 0m,025 d'épaisseur, le mètre superficiel.....	3 65
Parquet à l'anglaise, frises de 0m,085 à 0m,11, chêne, 0m,025 d'épaisseur, le mètre superficiel.....	8 25
Parquet à point de Hongrie, chêne 0m,025, frises de 0m,085 à 0m,11 ; 0m,45 d'écartement, le mètre superf.	9 90
Parquet en vieux bois équarris et retaillés, rainés sans replanissage, à l'anglaise, sapin.....	1 40
Parquet en vieux bois équarris et retaillés, rainés sans replanissage, à l'anglaise, chêne.....	2 »
Parquet en vieux bois équarris et retaillés, rainés sans replanissage à point de Hongrie, chêne.....	3 70
Parquet sur bitume à bâton rompu par frise de 0m,11 sur 0m,35 à 0m,40 scellé à bain de bitume sans lambourdes en sapin, de 0m,020 d'épaisseur..... ...	7 70
Parquet sur bitume à bâton rompu par frise de 0m,11 sur 0m,35 à 0m,40 scellé à bain de bitume sans lambourdes, en chêne de 0m,027 d'épaisseur.....	9 80

Parquets posés sans clous apparents (système Guérin). — La lambourde ou le parquet est accroché au fer à double **T** par un crochet B fixé sur la rive de la lambourde (*fig.* 778) ; par le même système, le plafond est accroché en dessous du fer ou solive. Lorsqu'une lambourde est interposée entre le fer et le parquet, ce dernier est accroché à la lambourde qui est entaillée d'une façon particulière pour recevoir le bec du crochet (*fig.* 778). M. Guérin fait des *parquets démontables*, dans lesquels le parquet est fixé sur la lambourde par de *fausses vis* (*fig.* 778).

Parquets en caoutchouc. — D'après le *Praktische Maschinen*

Constructeur, les parquets en caoutchouc, usités à Londres, ont de précieuses qualités. Le caoutchouc est employé par feuilles carrées de 1 mètre de côté et 5 centimètres d'épaisseur, que l'on pose les unes contre les autres. On prépare une aire unie en béton, afin que les feuilles de caoutchouc reposent sur toute leur surface. Ces parquets seraient avantageux dans les brasseries où ils permettraient de rouler les fûts sans avoir à craindre de dété-

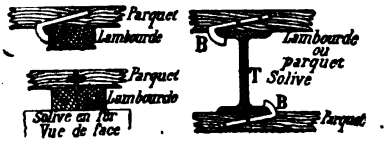


Fig. 778.

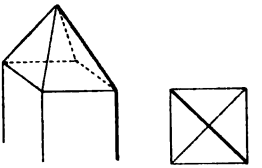


Fig. 779 et 780. — Pavillon carré.

riorations, et en général dans tous les endroits où l'on a à manier des corps lourds ; ils se lavent avec facilité ; il faut leur donner une légère pente pour l'écoulement de l'eau.

Combles. — Un toit est formé le plus souvent de 2 pans rampants ou égouts inclinés en sens contraires, se raccordant sui-

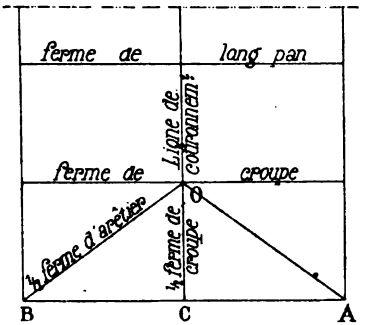


Fig. 781.

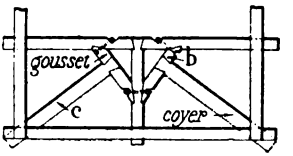


Fig. 782.

vant une arête ou *faite*. Dans les édifices plus longs que larges, le faîte est parallèle à la longueur, et chacun des pans prend le nom de *long-pan* (*fig.* 781).

Quand les longs-pans se terminent aux murs latéraux, ces murs prennent le nom de *pignons*. Si la toiture se termine par des portions de toit qui s'appuient sur les longs-pans et sur les murs latéraux, ces pans inclinés s'appellent *croupes*. Quand

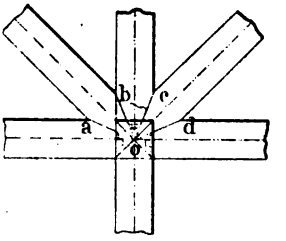


Fig. 783. — Assemblages des arbalétriers et des poinçons.

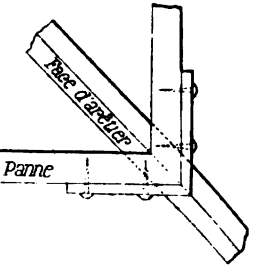


Fig. 784. — Assemblage des pannes et arêtiers.

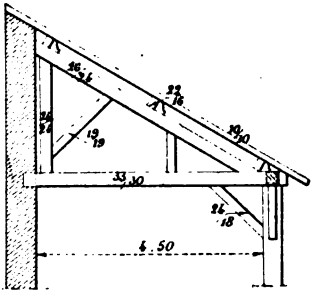


Fig. 785. — Appentis composé d'un entrait, d'un arbalétrier et d'un poinçon avec jambe de force.

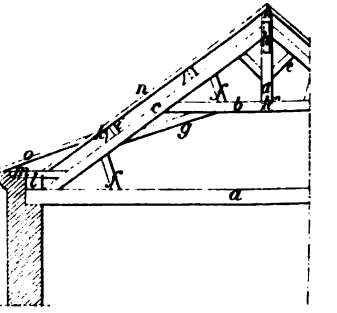


Fig. 786.

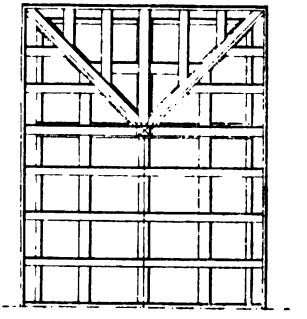


Fig. 787.

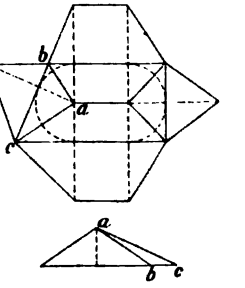


Fig. 788 et 789.

l'édifice est carré, les longs-pans et les croupes sont égaux et se terminent à un sommet commun ; on a un toit en *pavillon* (*fig.* 779 et 780).

Quand on veut faire des logements dans les combles, les pans sont en deux parties : l'une, inférieure, se rapprochant de la verticale et dans laquelle on pratique les fenêtres; et une partie supérieure, plus inclinée et s'appuyant sur la première et sur le faîte. Ce sont les combles *brisés* ou à la *Mansard* (p. 899).

Le comble formé d'une seule pente, rampant ou égout, prend le nom d'*appentis*. Le faîte d'un appentis est généralement adossé au mur d'un édifice plus élevé (*fig.* 785).

Lorsque l'espace à couvrir a plus de 5 mètres dans la direction du faîte, on le décompose en *travées* de 3 à 4 mètres par des *fermes* (charpente destinée à supporter le comble), dirigées suivant la largeur de l'édifice. Ces fermes sont en maçonnerie, fer, fonte ou bois. On doit, autant que possible, placer les fermes à l'aplomb des trumeaux.

Les fermes de faible portée comprennent simplement une pièce horizontale, ou entrait, et 2 pièces obliques, ou arbalétriers.

La figure 786 représente une ferme ordinaire en bois :

a, *entrait* ou *tirant*, pièce recevant les assemblages des arbalétriers et celui du poinçon quand il n'y a pas d'entrait retroussé (pièce soumise à l'extension) ;

b, *entrait retroussé*, reçoit l'assemblage du poinçon et empêche les arbalétriers de fléchir sous leur charge (pièce soumise à la compression) ;

c, *arbalétrier* (pièce soumise à la compression et quelquefois à la flexion)[1] ;

d, *poinçon* (pièce soumise à la compression) ;

e, *contre-fiche*[2] (*Id.*) ;

f, *jambette* (*Id.*) ;

g, *aisselier* (*Id.*) :

h, *sous-faîte* ou *lien de faîte*, petite jambe de force empêchant tout mouvement du poinçon par rapport au faîte (pièce soumise à la compression) ;

h, lierne ;

i, *pannes :* leur distance varie de 2 à 3 mètres ; elles supportent les chevrons ; la panne qui se trouve à l'angle de deux parties qui composent un même pan de toit à la Mansard, prend le nom de *pannes de brisis* (les pannes supportent des efforts de flexion) ;

[1] Les arbalétriers sont assemblés par le bas dans les bouts de l'entrait à tenon et mortaise ou par embrèvement ou des entailles en crémaillère et retenus par des liens en fer. Au sommet, les arbalétriers se réunissent et se raccordent par un joint à plomb ; quelquefois on les fixe dans une clef entaillée dans les deux pièces et chevillée. Souvent aussi les arbalétriers sont réunis par des entailles à mi-bois arrêtées par une cheville ou avec embrèvement.

[2] Il peut y avoir, dans le sens du faîte, des contre-fiches, ou *aisseliers* portant sur le poinçon et soutenant le *faîtage h*.

k, *tasseau*, coussinet (dont le profil est un trapèze) en bois, supportant les pannes ; prend le nom de tasseau lorsqu'il est coupé carrément en haut et en bas, et *chantignole* ou *échantignole*, lorsqu'il est coupé carrément en haut, en biais ou en biseau par le bas (fixé à l'arbalétrier par boulons ou clous) ;

l, *sablières* ou *plate-forme* (placée sur le mur) :

n, *chevrons*, de 0m,08 à 0m,11 d'équarrissage, éloignés entre eux de 0m,33 à 0m,45 portant sur les pannes, le faîtage et une plate-forme ou sablière dans des *pas* (entailles destinées à empêcher le glissement, et supportant la volige ou le lattis sur lequel on pose la couverture (pièces soumises à la flexion) [1] ;

o, *coyau*, petits chevrons posés sur les chevrons et sur l'entablement du bâtiment, qui rejettent les eaux pluviales au-delà du mur ; si leur poussée était à craindre, on doublerait la sablière et on ferait porter les abouts des coyaux sur une partie de cette sablière. Les coyaux ne s'emploient qu'avec beaucoup de pente.

Sur le pied des coyaux on fixe la *chanlatte*, planche de section triangulaire, destinée à recevoir la première tuile de l'égout.

Les *blochets m* sont des pièces horizontales courtes qui, dans les combles où l'on veut gagner de la hauteur, remplacent l'entrait ; ils reçoivent le pied des arbalétriers et des arêtiers et sont posés sur le sommet des murs ou sur des sablières avec lesquelles ils sont assemblés à *oulice*, ainsi qu'avec les jambes de force.

Les pieds des poteaux ne doivent pas poser sur le sol ou sur dé en bois, mais sur dé en pierre ou briques de 0m,30 d'élévation. La face du poteau posée sur dé devra être goudronnée [1].

Une *jambe de force*, ou *jambette*, est une pièce de bois portant sous l'arbalétrier au droit d'une panne et repórtant la charge sur un entrait ou faux entrait.

Quand le faîtage doit porter sur un pignon à l'endroit où passent les tuyaux de cheminée, on l'arrête à la distance de 0m,17 du *feu*, et on le supporte par un chevalement dont le pied est soutenu par une semelle portant sur les pannes. On ancre le faîtage.

La figure 787 donne le plan d'une *croupe droite* (dont la base est perpendiculaire au faîte). A est un *arêtier* qui reçoit les abouts des chevrons de long-pan et de la croupe. Le *chevron de croupe*, qui est le plus long de la croupe, s'assemble par le haut sur le poinçon ; les autres chevrons *h'* s'appellent *empanons*. Les pannes de croupe sont soutenues par la demi-ferme de croupe, dont le plan est parallèle au faîtage, et par deux *demi-fermes d'arête*.

Un *gousset* s'assemble dans l'entrait de la ferme de long-pan et le demi-entrait de la demi-ferme de croupe. Il est relié

[1] Les pieds des chevrons, dans les charpentes légères, peuvent être assemblés par embrèvement ou par enfourchement.

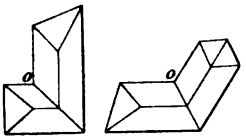


Fig. 790 et 791.

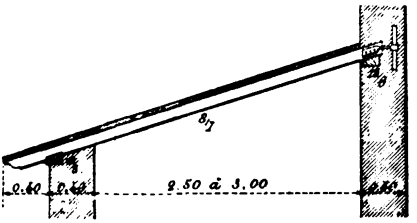


Fig. 792. — Appentis simple composé de deux sablières et de chevrons, s'appuyant sur deux murs.

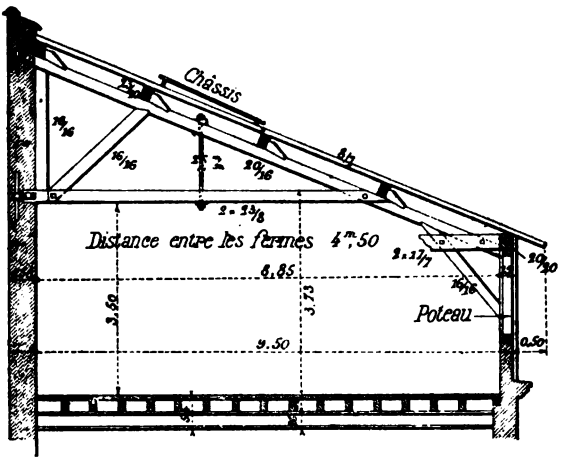


Fig. 793. — Appentis pour portée de 8 à 10 mètres.

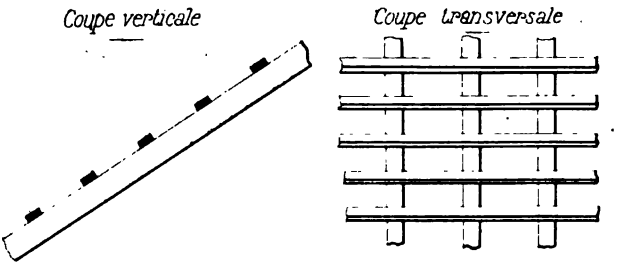


Fig. 794. — Lattis de couverture de comble.

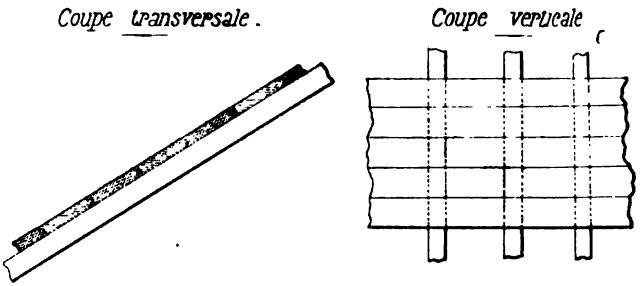


Fig. 795. — Voliges posées sur chevrons de comble.

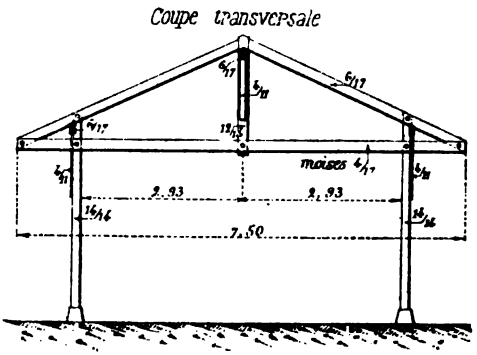


Fig. 796. — Comble à faible portée (chevrons espacés de 0m,50).

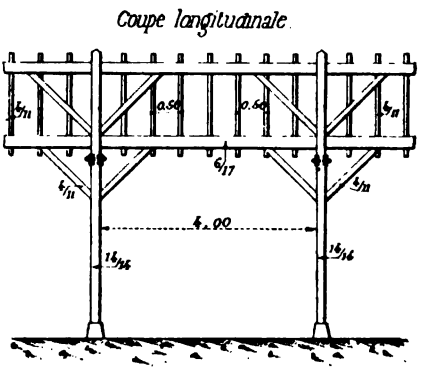


Fig. 797. — Coupe montrant la liaison des fermes de la figure 796.

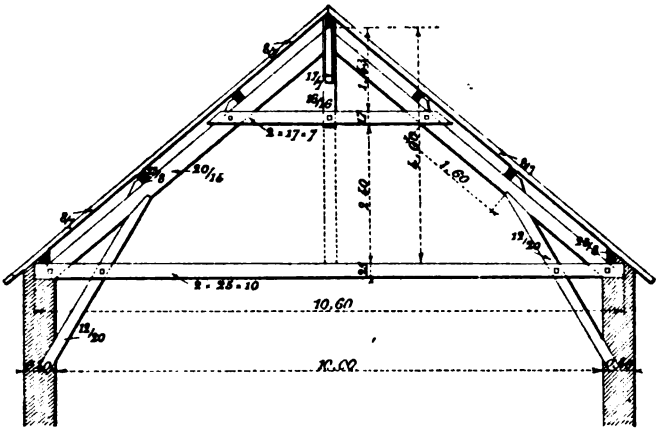


Fig. 798. — Comble en bois à deux pannes.

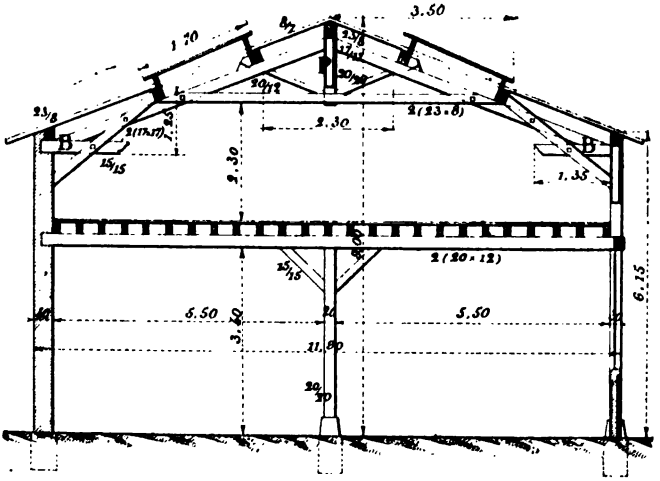


Fig. 799. — Comble en bois pour ateliers.

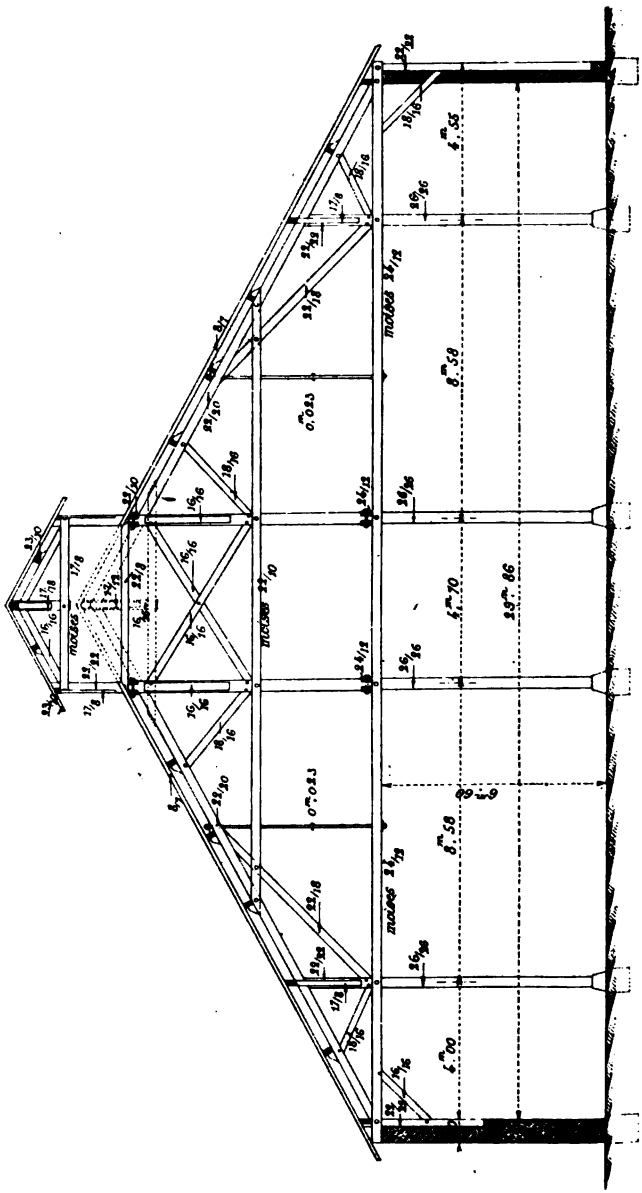


Fig. 800. — Comble à grande portée de sapin (poincons en chêne).

aux sablières par un *coyer*, sur lequel porte l'about des arbalétriers-arêtiers.

La figure 782 donne la liaison d'un gousset avec les sablières au moyen du coyer. Dans les constructions légères on emploie de simples arêtiers, auxquels aboutissent les pannes et sur lesquels on cloue les abouts des chevrons.

Une *croupe biaise* est celle dont la direction est oblique par rapport à la direction du faîtage.

Exemple : *abc* (*fig.* 788).

Si deux bâtiments se réunissent angulairement (*fig.* 790 et 791, au point *o*), le pli de la couverture qui forme un angle rentrant s'appelle *noue*. La noue s'établit comme l'arêtier, mais présente un angle rentrant là où l'arêtier présente un angle saillant.

Proportion des combles brisés

LARGEURS DANS ŒUVRE	6 MÈTRES	9 MÈTRES	12 MÈTRES
Entrait portant plancher	42c × 30c	50c × 35c	58c × 42c
Faux entrait	23 × 20	30 × 25	35 × 32
Arbalétriers	20 × 18	25 × 22	28 × 25
Poinçon	18 × 18	23 × 23	27 × 27
Jambettes	14 × 14	16 × 16	18 × 18
Contre-fiches	14 × 14	16 × 16	18 × 18
Pannes	19 × 19	20 × 20	22 × 22
Chevrons	5 × 9	6 × 11	7 × 12

Les **combles en fer** sont bien préférables à ceux en bois pour grandes portées ; ils sont légers et résistent au feu. Dans les petites constructions, les arbalétriers se font à section rectangulaire (fers méplats du commerce dont l'épaisseur = 1/5 de la largeur) ; pour les constructions moyennes, ces pièces ont la forme d'un solide à nervure (fers à double **T** ou fers en **U**) ; pour les grandes portées et fortes charges, les arbalétriers sont de véritables poutres en tôle pleine ou en lattis simples ou croisés. Les arbalétriers sont souvent composés de 2 fers en **U**, recevant dans l'intervalle qui les sépare les abouts des tirants et contre-fiches.

Les tirants, soumis à un effort de traction, sont des cylindres de très petit diamètre ou ont une section rectangulaire (pour faciliter l'application des carillons qui supportent le plancher). Les pièces tendues se font surtout en fers plats.

L'espacement des pannes, dans les combles en fer, varie de 1m,50 à 2 mètres. Les pannes s'assemblent aux arbalétriers au moyen d'équerres rivées et boulonnées ; elles se font, comme les pièces comprimées, en simples fers cornières, quelquefois en fer à simple **T** ou en fer méplat pour les petites constructions,

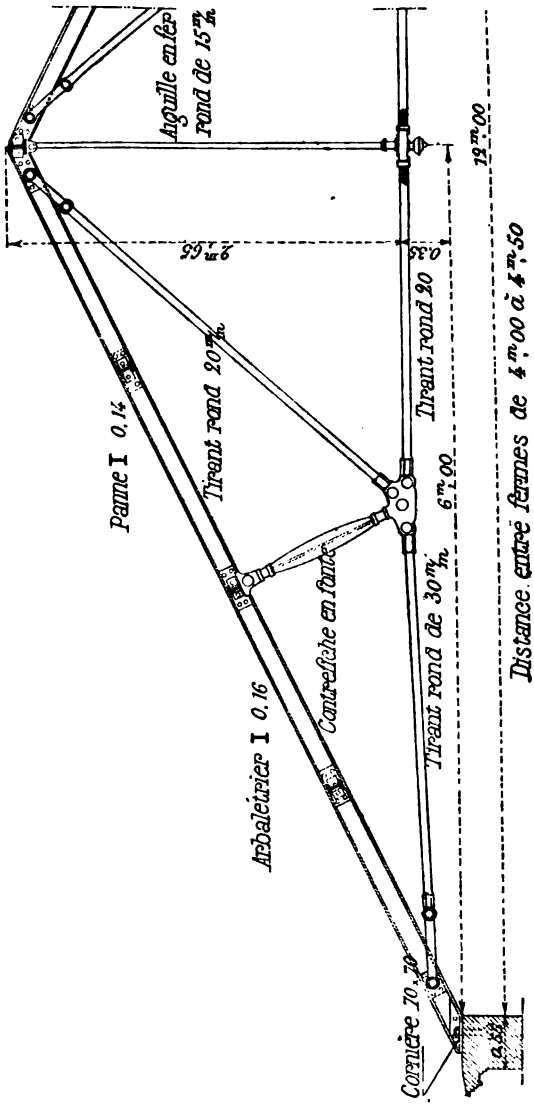


Fig. 801. — Comble Polonceau retroussé, ayant 2 arbalétriers en fer ou en bois 1 ou 2 bielles, aiguilles pendantes ou poinçons en fonte ou en fer pour soulager les arbalétriers, 2 tirants en fer par poinçon et 1 tirant en fer pour tenir la poussée au vide des arbalétriers.

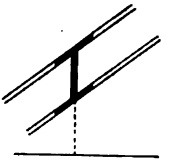


Fig. 802. — Position qu'occupe quelquefois un fer à double T formant panne dans un comble en fer.

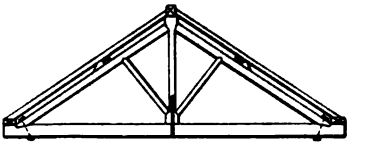


Fig. 803. — Ferme dont les arbalétriers sont soulagés par 2 contre-fiches. Le poinçon a des épaulements où aboutissent les arbalétriers et les contre-fiches.

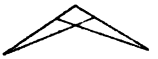


Fig. 804. — Comble retroussé.

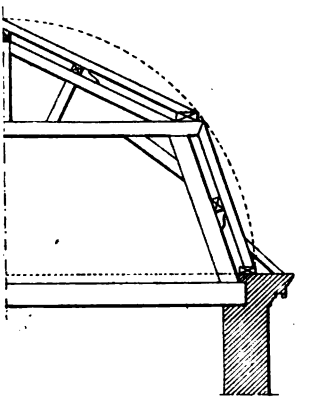


Fig. 805. — Comble à la Mansard. La partie supérieure est le *faux comble*, avec deux *jambettes* pour soutenir l'arbalétrier. Le faux comble est supporté par 2 jambes de force, portant elles-mêmes sur un entrait; le trapèze est rendu indéformable au moyen de deux aisseliers. Cette partie, appelée *brisis*, est complétée par les pannes et chevrons de brisis.

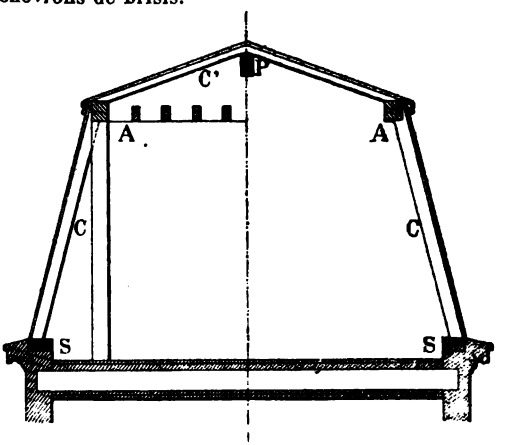


Fig. 806. — Comble à la Mansard pour construction légère ou comprise entre 2 pignons (la jambe de force sert de chevron de brisis). Avec ce comble brisé on peut ménager des logements de 2m,65 à 2m,40 de haut.

en fers à double **T**, en tôle et en treillis pour les grands combles.

Les contre-fiches ou bielles supportant de grands efforts de compression sont en fer à section circulaire ou cruciforme

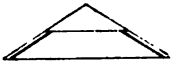


Fig. 807. — Ferme avec faux entrait ou entrait retroussé soutenu par le poinçon, 2 sous-arbalétriers et 1 entrait rattaché au poinçon par un tirant en fer (*non figuré*).

Fig. 808. — Ferme dont l'entrait est supporté dans sa portion moyenne; les arbalétriers sont soulagés par des jambes de force; des aisseliers moisés soulagent le faux entrait.

renflée au milieu, avec cornières et fers plats rivés ensemble; on les fait rarement en fonte.

Les combles en simples fers du commerce sont très écono-

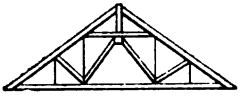


Fig. 809. — Ferme Palladio en bois pour les pièces comprimées et en fer pour les pièces tendues (tirants); ces pièces sont assemblées à sabots métalliques.

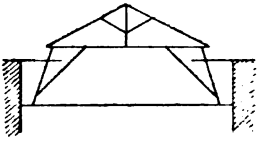


Fig. 810. — Ferme pour comble dont la partie inférieure est habitable. Des moises rendent indéformable la figure formée par l'entrait inférieur, la jambe de force et le blochet.

miques pour grands ateliers où l'on n'a pas à craindre les vapeurs oxydantes. Le comble en bois du manège de Moscou a 40 mètres de portée ; c'est une limite pour le bois.

Fig. 811. — Comble dont l'entrait est soutenu par 2 moises pendantes.

Le Palais des Machines, à Paris, en fer, a 110 mètres de portée. Les *fermes sans entrait*, en bois, sont formées d'*arcs* supportant les arbalétriers. Les types Philibert Delorme et du colonel Émy se prêtent aux grandes portées.

Le *comble Émy*, pour portées de 20 mètres, se compose de feuilles ou madriers longs et étroits (12 à 13 mètres $\times$ $0^m,13$ $\times$ $0^m,055$) superposés et courbés sur leur plat par leur flexibilité seule et réunis par des moises à un arbalétrier extérieur (*fig.* 834). Ces fermes sont espacées de 3 mètres et réunies par des moises-liernes horizontales.

Le *comble conique, pour recouvrir des espaces circulaires*, a une

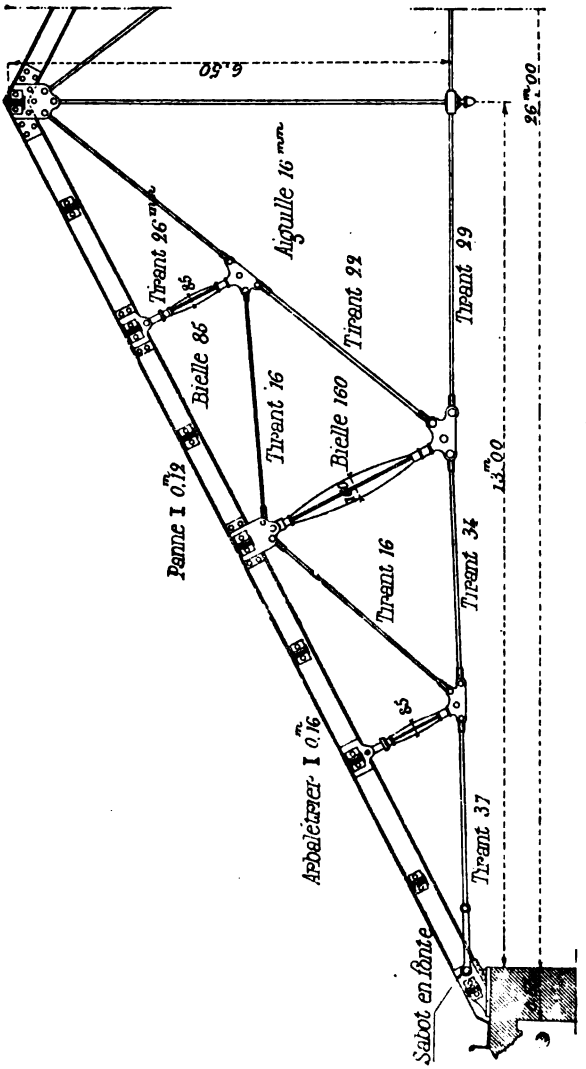


Fig. 812. — Ferme Polonceau à 6 contre-fiches et 13 tirants.

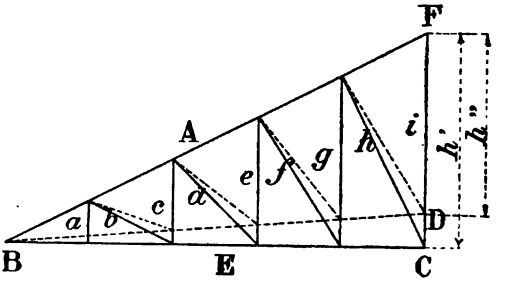


Fig. 813. — Ferme américaine à contre-fiches inclinées.

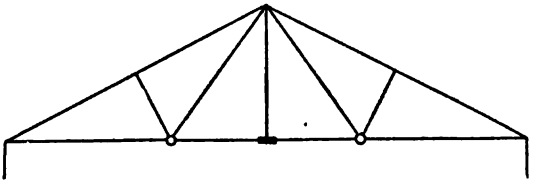


Fig. 814. — Ferme Polonceau, à 2 contre-fiches et 5 tirants.

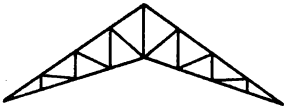


Fig. 815. — Ferme américaine.

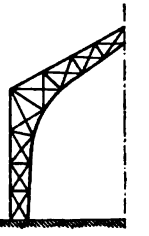


Fig. 816. — Ferme métallique de Dion (son pied est encastré dans le sol). *Expos. universelle de* 1878.

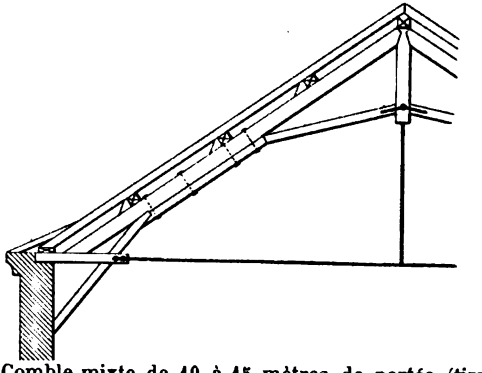


Fig. 817. — Comble mixte de 10 à 15 mètres de portée (tirant en fer réunissant 2 entraits fractionnés en bois).

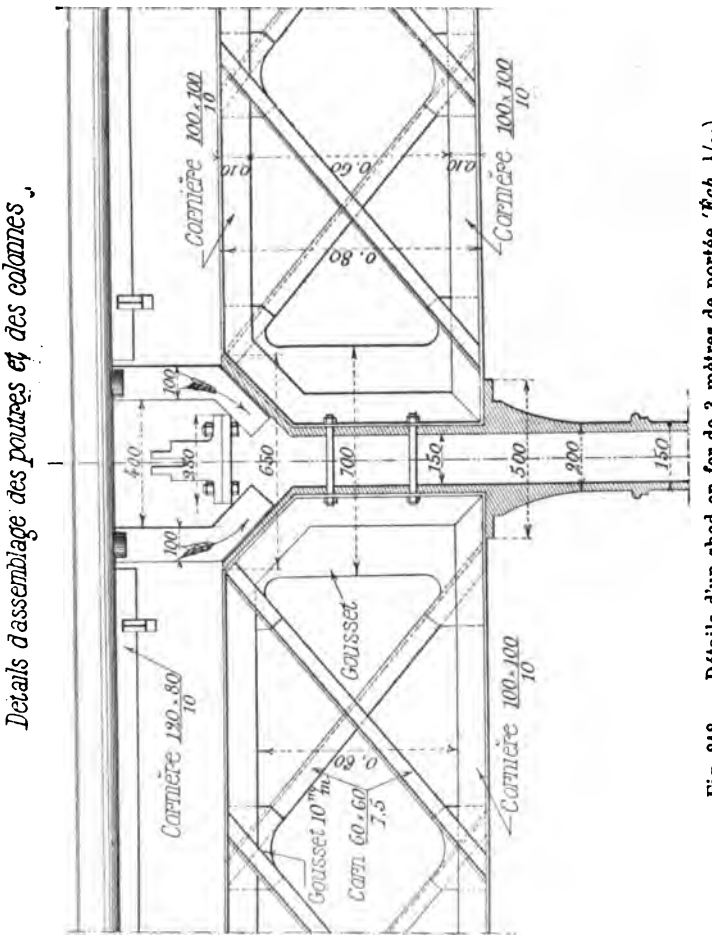


Fig. 818. — Détails d'un shed en fer de 3 mètres de portée (Éch. 1/21).

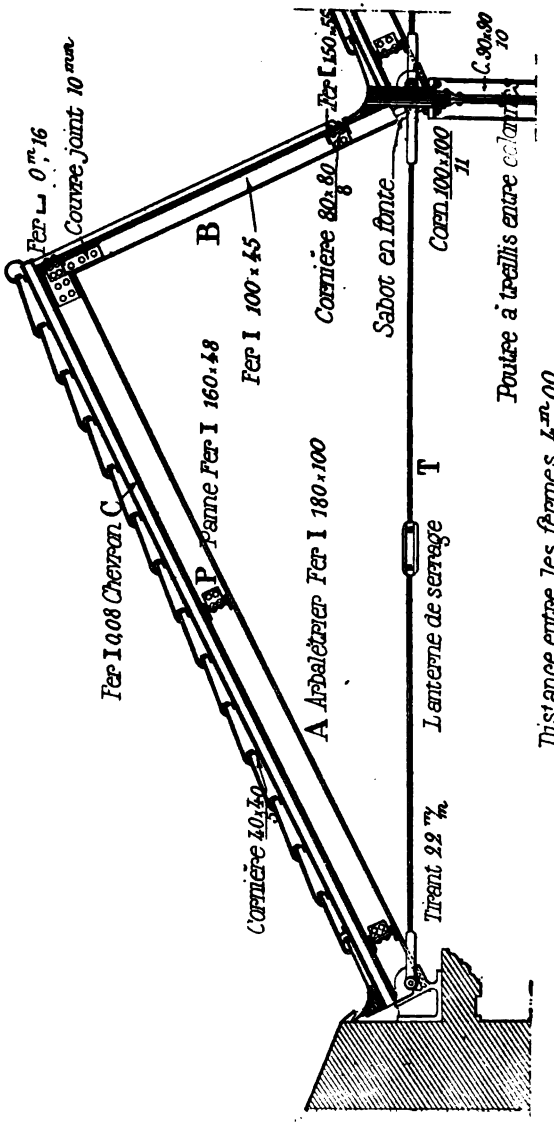


Fig. 819. — Shed (comble à pentes inégales) de 5 mètres de portée.
(*Ech.*, 0m,025 par mètre.)

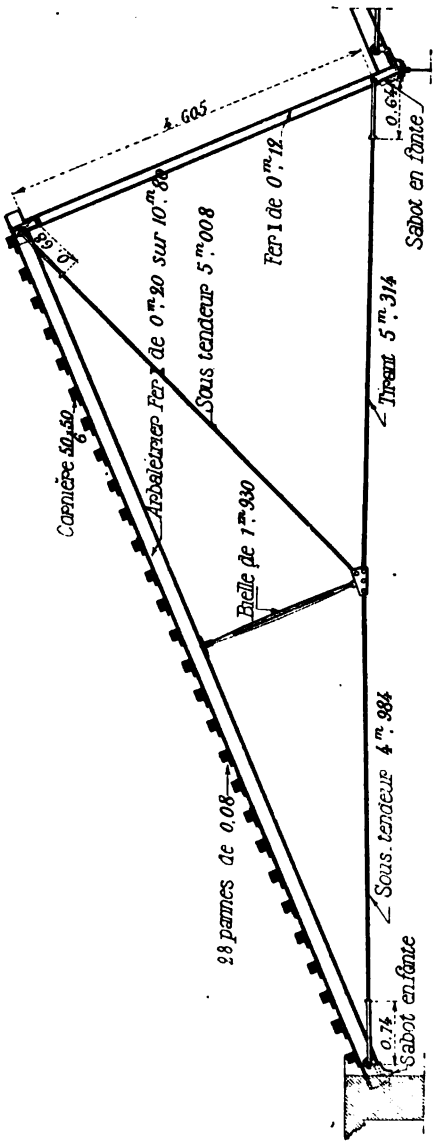


Fig. 820. — Shed Polonceau (*Éch.*, 1/80).
Portée, 10m,30.

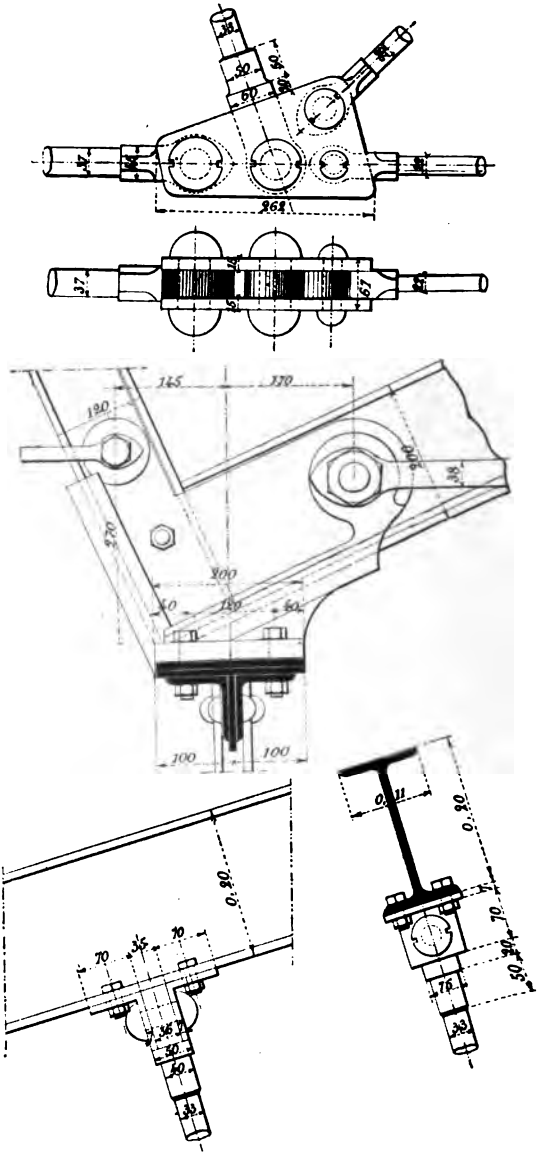


Fig. 821 à 824 (*Ech.*, $^1/_{10}$).

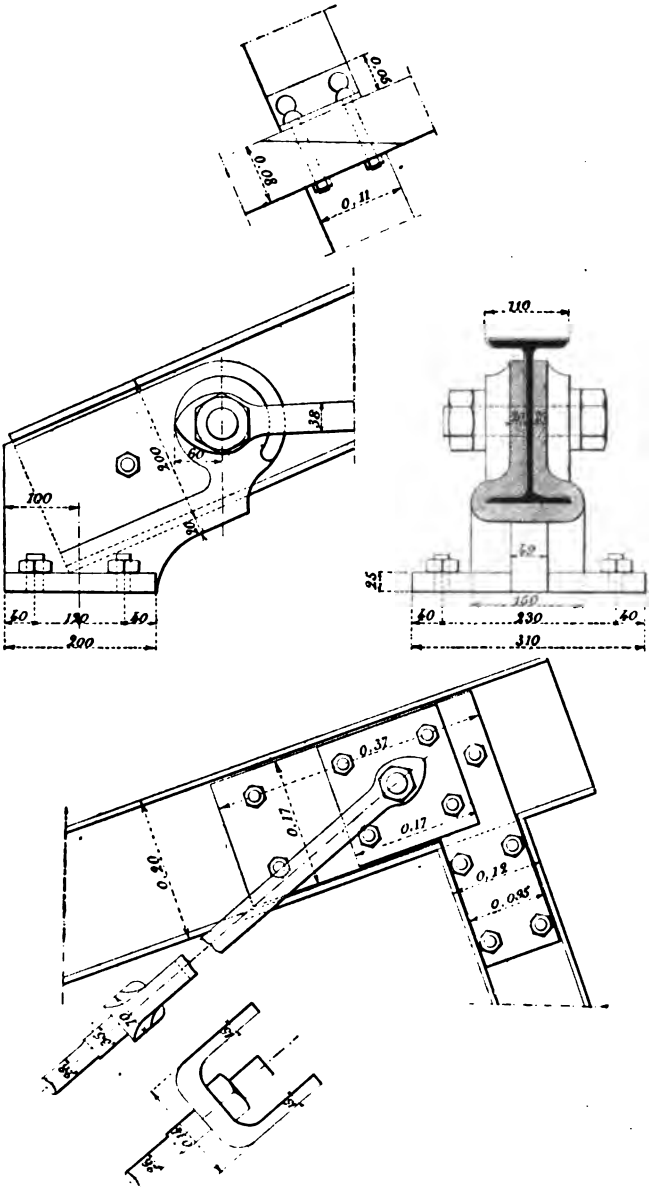


Fig. 825 à 829 (*Éch.*, $^1/_{10}$).

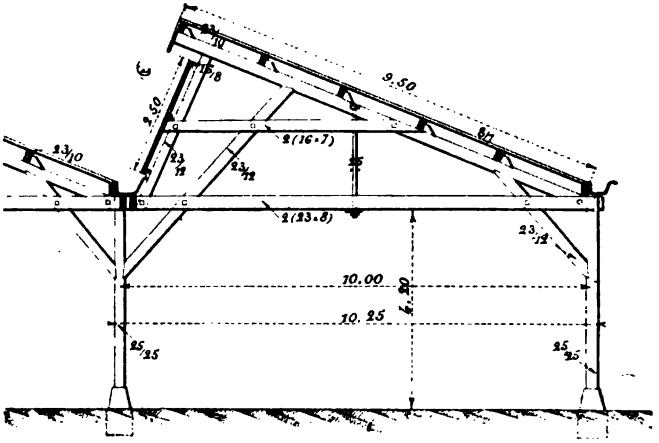


Fig. 830. — Comble d'atelier (*shed*) prenant jour par le versant dirigé vers le nord.

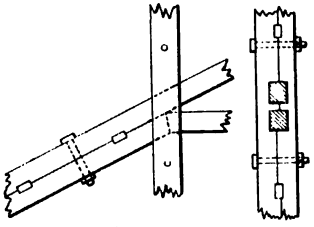


Fig. 831. — Assemblage de faux entraits et de sous-arbalétriers à joint plat; jumelage du sous-arbalétrier et de l'arbalétrier, moises pendantes jumelées.

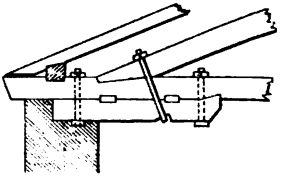
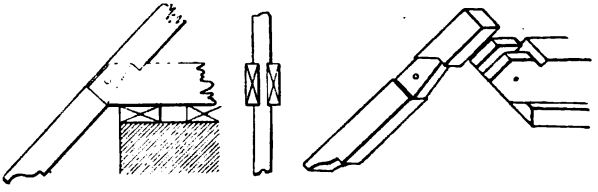


Fig. 832. — Entrait et sous-entraits jumelés, réunis à l'arbalétrier par des étriers en fer.



833. — Assemblage d'un chevron pendant.

base circulaire ou octogonale (*fig.* 835 et 836), et son sommet aigu. On le pratique pour terminer des tours ou tourelles. Les liernes, ou entretoises circulaires, se posent à la hauteur où les chevrons

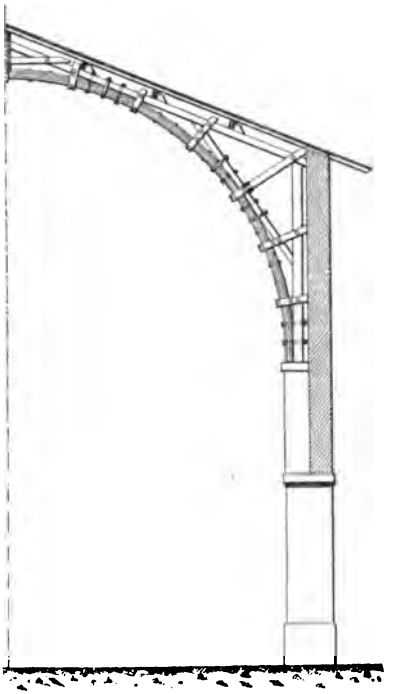


Fig. 834. — Comble Emy.

sont à $0^m,40$ ou $0^m,50$ les uns des autres; on en pose une ou deux suivant la hauteur du comble. L'espacement des chevrons est de $0^m,40$ à $0^m,45$ au plus de milieu en milieu.

Quand la portée dépasse 5 mètres, on fait usage d'un *entrait retroussé ;* à partir de 7 mètres à $7^m,50$, l'entrait doit être soutenu en un point, et pour 10 mètres en deux points intermédiaires.

L'écartement des pannes d'axe en axe est de $3^m,5$ et 4 mètres pour couvertures en tuiles, et de 4 mètres à $4^m,50$ pour couverture en métal.

Écartement des chevrons :

Pour couverture en bardeaux.....	$= 1^m,25$ à $2^m,00$
— en métal.....	$= 1\ ,25$ à $1\ ,40$

Proportions des combles en fer de petites portées

	COMBLES SANS BIELLES			COMBLES AVEC BIELLES		
Portée	6m,00	8m,00	10m,00	12m,00	14m,00	16m,00
Hauteur	1 ,20	1 ,60	2 ,00	2 ,40	2 ,80	3 ,00
Espacement des fermes	3 ,50	4 ,00	5 ,00	5 ,00	5 ,50	6 ,00
Arbalétrier	I de 160	I de 180	I de 220	I de 160	I de 200	I de 220
Pannes	I de 120	I de 140	I de 150	I de 160	I de 260	I de 180
Entrait	fer rond de 18m/m	fer rond de 26m/m	fer rond de 29m/m	fer rond de 32m/m	fer rond de 37m/m	fer rond de 41m/m
Tirant supérieur	»	»	»	fer rond de 12m/m	fer rond de 14m/m	fer rond de 15m/m
Tirant inférieur	»	»	»	fer rond de 35m/m	fer rond de 39m/m	fer rond de 43m/m

Écartement des chevrons :

Pour couverture en ardoises		= 1m,25 à 1m,50
— en asphalte		= 1 ,25 à 1 ,75
— en tuiles	ordinaires	= 1 ,00 à 1 ,25
	légères	= 1 ,00 à 2 ,00

Une chute de neige de 0m,60 d'épaisseur équivaut à 75 kilogr. par mètre carré de la projection horizontale de la toiture, la neige pesant environ 1/8 de son volume d'eau.

On peut donner, comme élévation à un comble, 1/3 de la largeur extérieure du bâtiment; il est dit alors à 1/3 de pente.

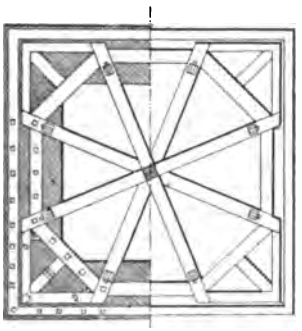


Fig. 835.

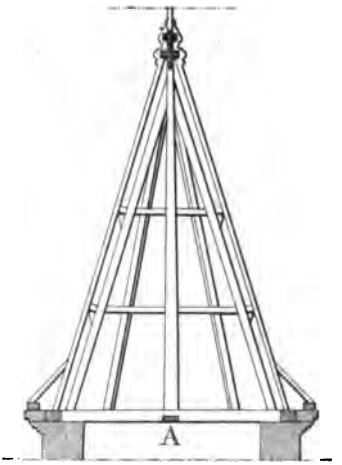


Fig. 836. — Comble pour flèche.

Effet du vent. — La pression exercée par une violente tempête contre une surface normale étant d'environ 110 kilogr. par mètre carré, la charge verticale q qui en résulte sur une toiture faisant un angle α avec l'horizon est, par mètre carré de la projection horizontale, $q = 110 \frac{\sin^2(\alpha + 10^\circ)}{\cos \alpha}$ en kilogr.

Pour un comble moyen il faut 0m3,09 de bois par mètre carré pour une couverture en ardoise de 45° d'inclinaison ; 0m3,105 de bois pour un comble couvert en ardoises avec 60°.

La couverture en tuiles creuses, posées à sec avec une inclinaison de 18 à 21°, exige 0m3,058 à 0m3,068 de bois par mètre carré d'espace à couvrir. Ce cube sera de 0m3,09 pour tuiles plates inclinées à 45°.

Avec tuiles creuses maçonnées sur des planchers en bois, une obliquité de 18 à 21° exige, par mètre carré, 0m3,067 à 0m3,072 de bois.

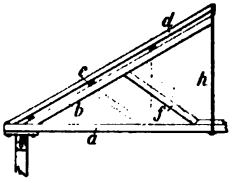


Fig. 837.

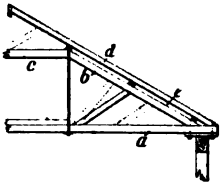


Fig. 838.

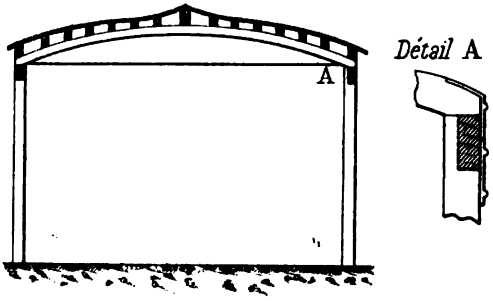


Fig. 839. — Comble mixte Pombla de 12 mètres de portée (madriers courbés et maintenus par des entraits en fer rond).

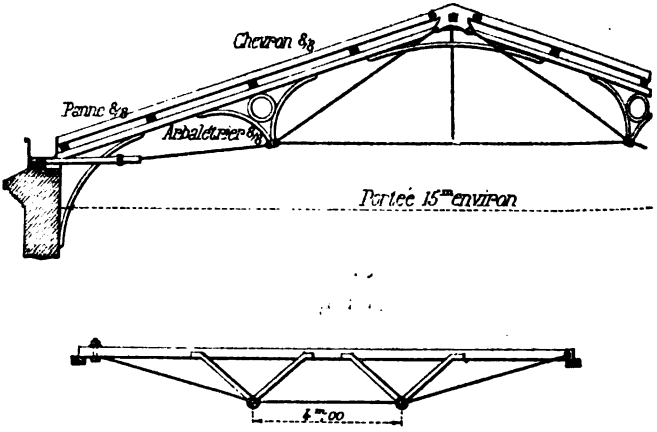


Fig. 840 et 841. — Comble léger Baudrit (arbalétrier soutenu par bielle en fer) pour portées de 15 mètres avec bois de 0m,10 d'équarrissage ; fermes espacées de 4 mètres.

Tableau des équarrissages des bois pour combles de 9 à 24m,00 de portée (*fig.* 837 et 838) (*d'après Nystrom*)

DÉSIGNATION des PIÈCES		PORTÉE EN MÈTRES								
		9 m.	10 m.	12 m.	14 m.	15 m.	17 m.	18 m.	21 m.	24 m.
		cm.	cm.	cm.	cm.	cm.	cm.	cm.	cm.	cm.
Entrait ou tirant principal....	*a*	13×18	15×18	15×20	18×20	20×23	20×30	23×28	25×28	25×30
Arbalétriers...	*b*	13×13	13×15	15×18	18×18	20×20	20×23	23×23	23×25	25×28
Entrait retroussé	*c*	13×13	13×15	15×18	18×20	20×20	20×23	23×23	23×25	25×28
Chevrons.....	*d*	5×13	5×13	5×15	5×15	5×15	5×18	5×18	6×20	8×23
Pannes	*e*	13×15	13×15	13×15	15×18	15×20	15×20	15×23	15×23	15×23
Contrefiches...	*f*	8×10	8×13	8×15	10×18	10×20	13×20	13×23	15×23	15×23
Poinçon.....	*h*	2,5	2,5	2,5	3	3	3,5	4	4,5	5
Boulons.....	-	2	2	2	2	2	2,5	3	3	3,5

Poids des matériaux les plus en usage dans les toitures et charges des charpentes

DÉSIGNATION des MATÉRIAUX	POIDS DU MÈTRE CARRÉ mis en place	INCLINAISONS USUELLES	POIDS DE LA CHARPENTE par mètre carré de toiture
	kilog.	degrés	kilog.
Bardeaux en chêne.....	44	45	45
Bardeaux en sapin.....	22	45	34
Tuiles plates grand et petit modèle.....	82 à 85	27, 45 et 60	50
Tuiles flamandes.....	80	21 à 27	50
Tuiles creuses à sec.....	75	21 à 27	45
Tuiles creuses maconnées...	138	21 à 27	50
Ardoises grandes d'Angers..	28	33 à 45	45
— Charleville.....	28	33 à 45	45
— cartelettes d'Angers.	24	33 à 45	45
Zinc n° 14.....	6	18 à 25	34
Zinc n° 16.....	7,5	18 à 25	34
Cuivre.....	6 à 7,6	18 à 25	34
Tôle.....	7 à 8	18 à 21	34
Tôle galvanisée.....	5,14 à 7,8	18 à 21	34
Tôle cannelée.....	7,20	18 à 21	45
Plomb.....	7,40	18 à 21	45
Mastic bitumineux.....	7,25	18 à 21	45
Verre.....	8	18 à 21	45

Nota. — Les poids précédents sont les charges permanentes effectives appliquées par mètre carré de couverture. Il faut y ajouter la charge accidentelle de la neige et la pression du vent.

Le poids de la neige est compté dans nos climats à raison de 25 à 30 kilogr. par mètre carré de couverture, suivant les localités.

Quant à la pression du vent, on en tiendra compte en ajoutant par

mètre carré de toiture une surcharge de 10 à 20 kilogrammes, suivant les régions.

Pour déduire la charge par mètre carré de projection horizontale de toiture, on multipliera les charges précédentes par $\frac{1}{\cos \alpha}$, en désignant par α l'inclinaison de la toiture.

Exemple : Soit une toiture en tuiles plates, la charge évaluée par mètre carré sera :

Poids de la tuile.....	85 kilogrammes
Charpente.....	50 —
Neige.....	25 —
Vent.....	15 —
Total.....	175 kilogrammes

Si l'inclinaison est de 45°, la charge par mètre carré de projection horizontale sera :

$$175 \times \frac{1}{\cos 45^\circ} = \frac{175 \text{ kilogr.}}{0,7} = 250 \text{ kilogr.}$$

RAPPORT de la hauteur de la ferme à sa portée $f = \frac{h}{l}$	PENTE DE LA TOITURE $p = h : \frac{2}{l}$	INCLINAISON α de la toiture sur l'horizon	VALEUR de $\cos \alpha$
		degrés	
1/2	1	45	0,707
1/3	$\frac{2}{3} = 0,666$	33 2/3	0,832
1/4	$\frac{2}{4} = \frac{1}{2} = 0,50$	26 1/2	0,894
1/5	$\frac{2}{5} = 0,4$	21 5/6	0,928
1/6	$\frac{2}{6} = \frac{1}{3} = 0,333$	18 1/2	0,948
1/7	$\frac{2}{7} = 0,2855$	16	0,960
1/8	$\frac{2}{8} = \frac{1}{4} = 0,25$	14	0,970
1/9	$\frac{2}{9} = 0,222$	12 1/2	0,976
1/10	$\frac{2}{10} = \frac{1}{5} = 0,20$	11 1/3	0,980

En admettant une ferme à deux égouts, si l'on désigne par f le rapport de la hauteur h de la ferme à sa portée l, il en résulte que l'inclinaison de chaque égout a pour valeur : $p = h : \frac{l}{2}$. On peut consulter le tableau ci-dessus, qui donne des éléments numériques que l'on pourra utiliser dans les calculs se rapportant aux toitures.

Dans les **combles mixtes en fer et bois**, les pièces exposées à la tension sont en fer forgé ou laminé; celles exposées à la pesan-

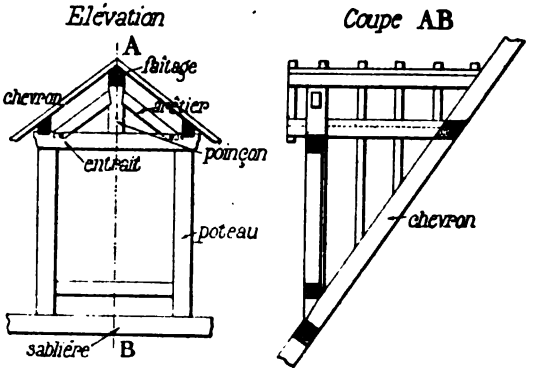


Fig. 842 et 843. — Lucarnes en bois.

teur ou à la poussée sont en fonte; et celles exposées à la rupture, à la courbure ou à la flexion sont en bois. Les entretoisements

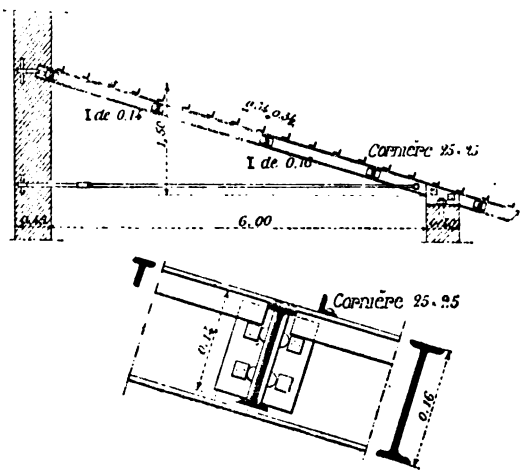


Fig. 844. — Appentis en fer avec tirant, pour recevoir une couverture en tuiles.

sont en fer; les pannes, faîtages et chevrons en bois. Ces charpentes sont légères, économiques, faciles à construire.

Lucarne en arc de décharge (*fig.* 842 et 843). — *cc*, chevrons de jouée assemblés dans les poteaux *p*. — *l*, linçoir, recevant les chevrons courants, s'assemblant dans les chevrons de jouée et servant de point d'appui au faîtage *f* de la lucarne. Ce faîtage est

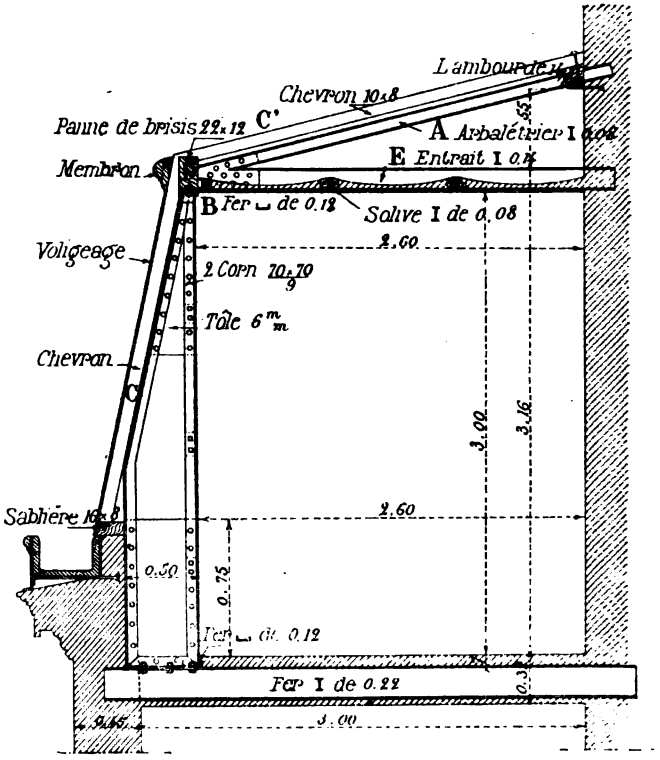


Fig. 845. — Appentis à la Mansard en fer.

ancré dans le dernier joint. — *s*, sablières assemblées à embase avec les chevrons de jouée et ancrées dans le joint de linteau. La sablière est entaillée au droit des jambages en maçonnerie de la lucarne, ou elle est supprimée au droit de la lucarne, et les abouts sont réunis par des plates-bandes noyées dans un joint de la maçonnerie.

Escaliers. — On distingue dans un escalier : la *cage*, formée par les murs qui soutiendront l'escalier ou ses points d'appui et le *limon*, pièce (en pierre, bois, fer ou fonte) rampante recevant un about de chaque marche dans un encastrement. Le

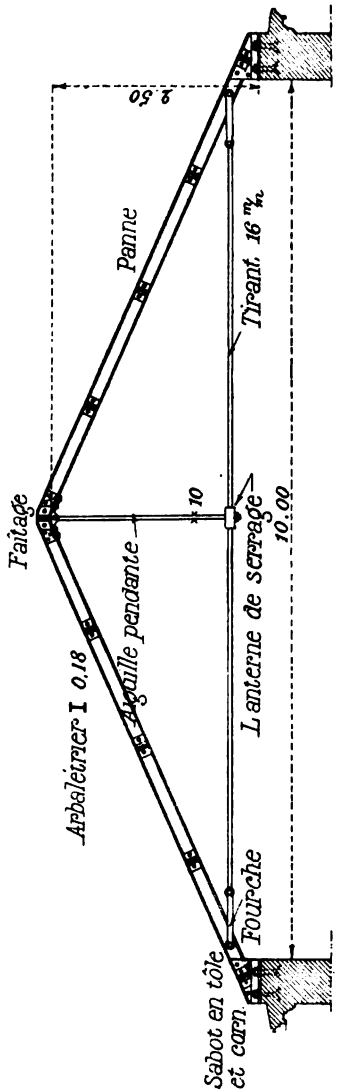


Fig. 846. — Comble en fer avec tirant et aiguille pendante (pour diminuer la flexion).

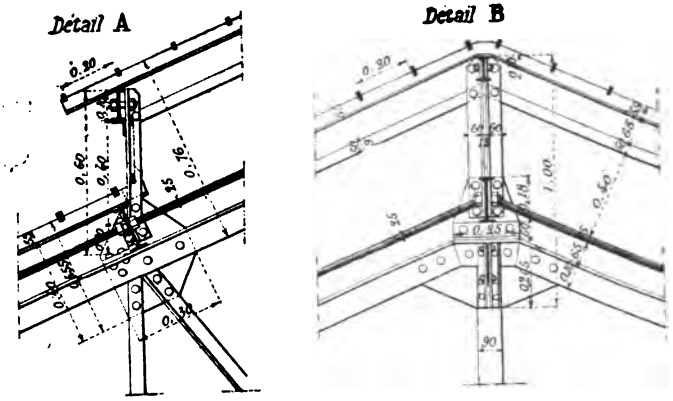


Fig. 847 et 848. — Arbalétriers et entrait formés de cornières réunies par des rivets et des goussets.

Détails d'un faîtage

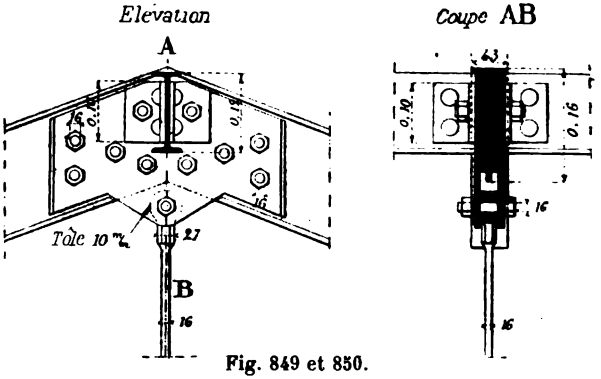


Fig. 849 et 850.

Détails d'une fourche de tirant

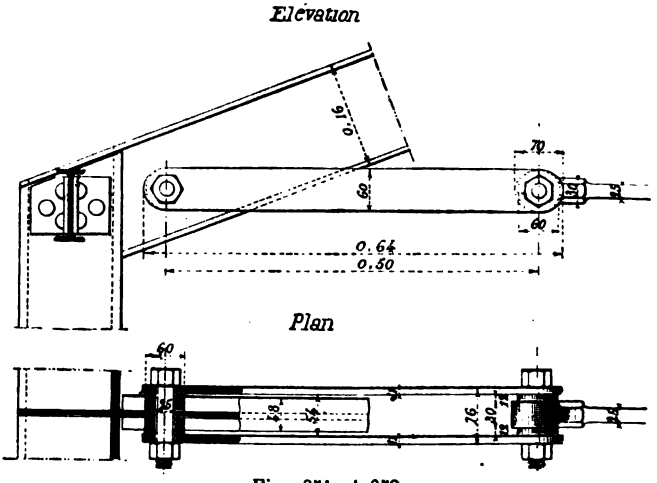


Fig. 851 et 852.

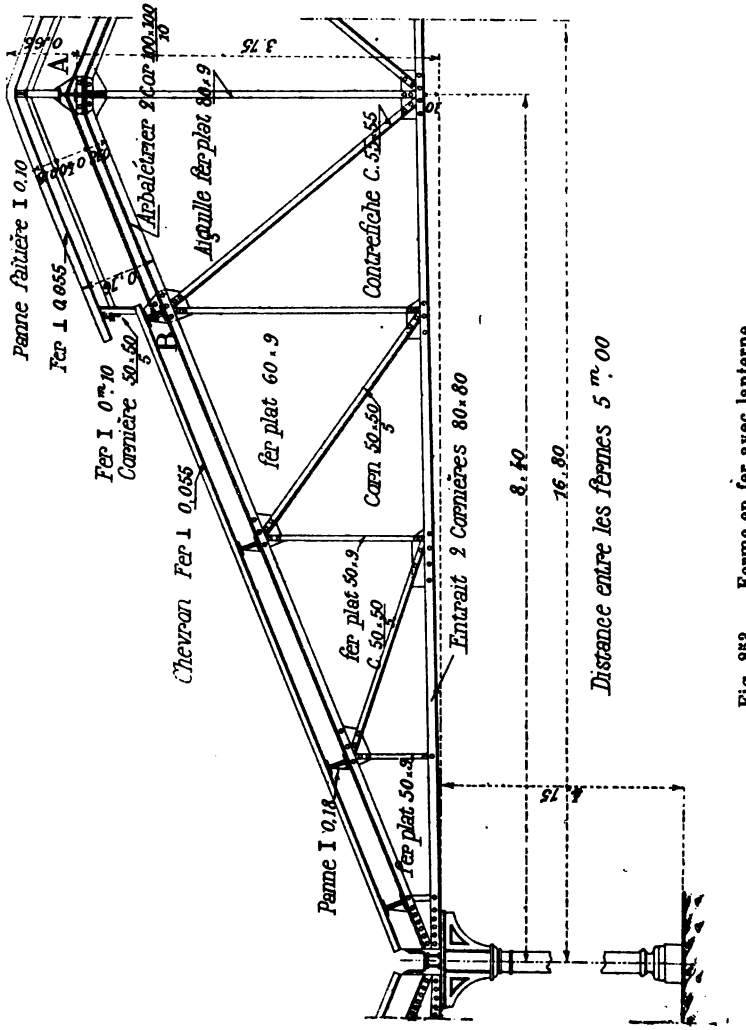


Fig. 853. — Ferme en fer avec lanterne.

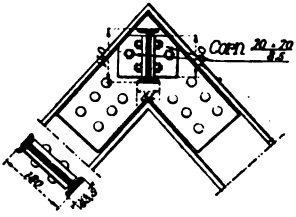


Fig. 854. — Arbalétrier et faitage en fer.

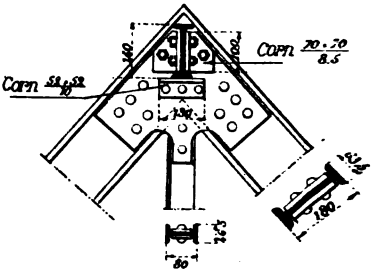


Fig. 855. — Faitage avec aiguille pendante.

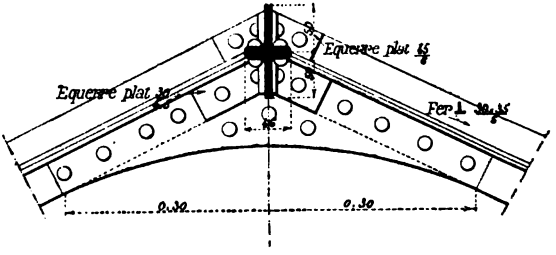


Fig. 856. — Faitage métallique.

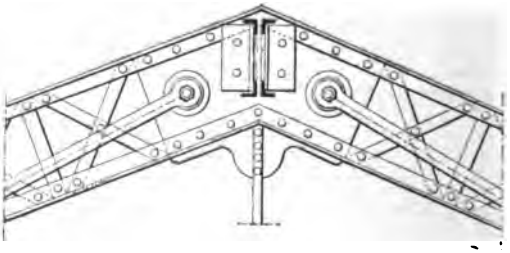


Fig. 857. — Faitage métallique avec aiguille pendante et tirants.

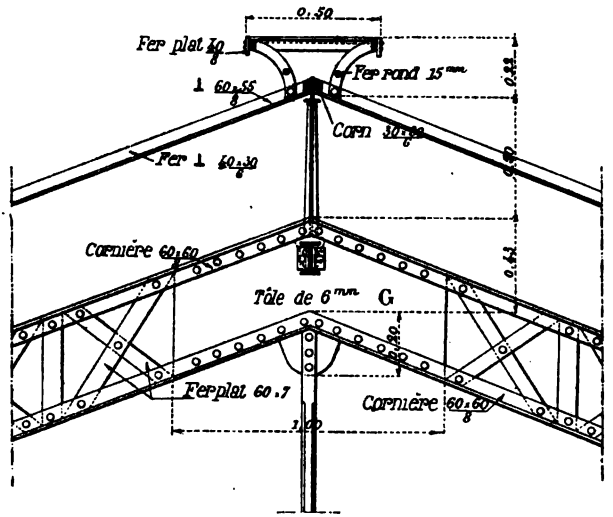


Fig. 858. — Arbalétriers composés de tôles et cornières, avec gousset G.

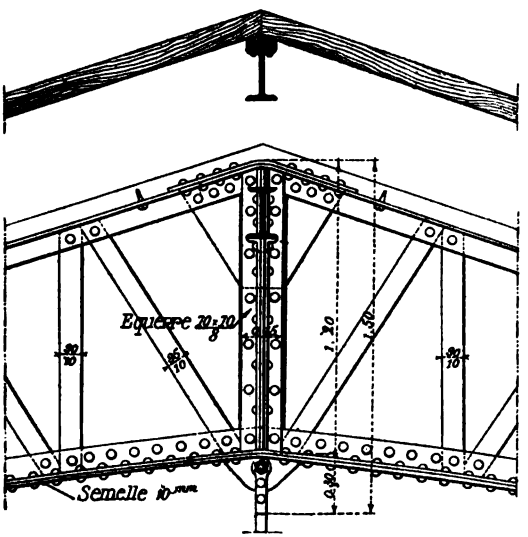


Fig. 859. — Assemblage de panne faitière sur montant vertical.

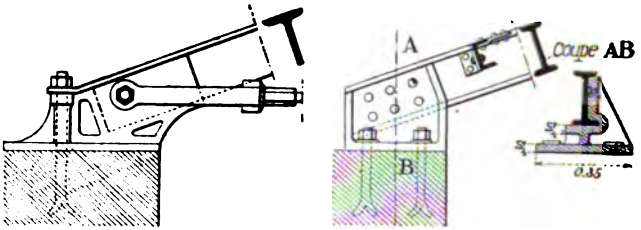


Fig. 860 et 861. — Retombée d'arbalétriers en fer sur sabot en fonte.

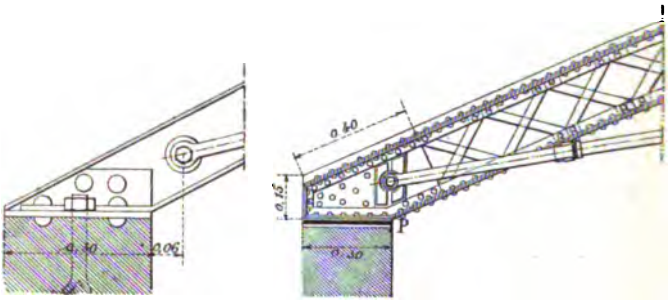


Fig. 862 et 863. — Arbalétrier en fer maintenu sur mur à l'aide de boulons et d'une plaque en tôle et cornières.

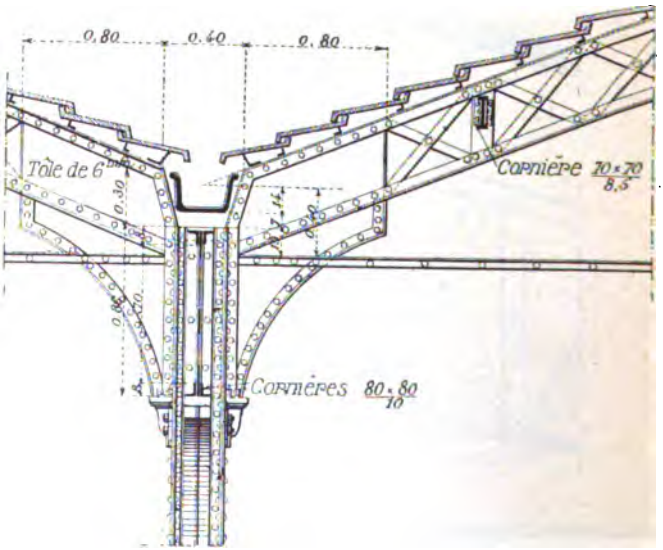


Fig. 864. — Retombée d'arbalétrier sur console et colonne en fer, avec gousset.

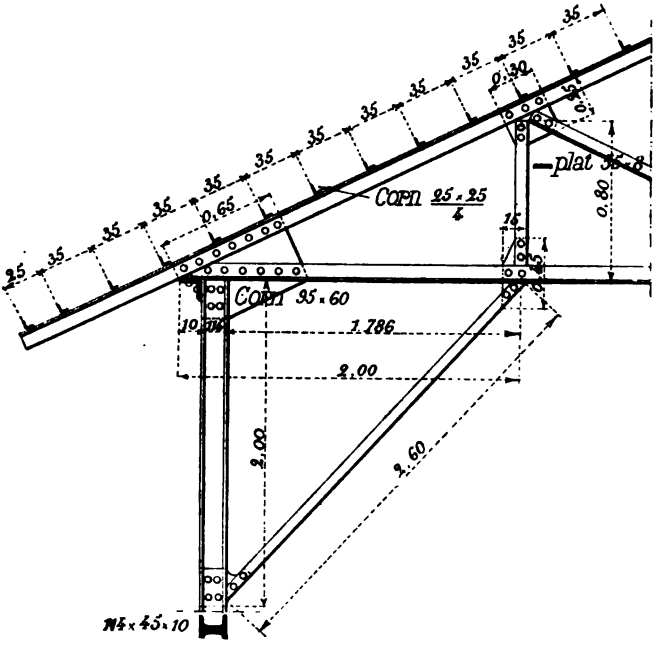


Fig. 865. — Retombée d'arbalétrier sur poteau avec gousset réunissant les pièces principales.

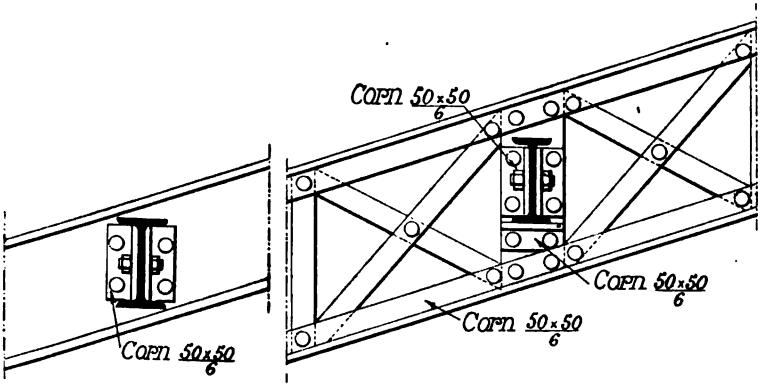


Fig. 866 et 867. — Assemblages des pannes sur les arbalétriers.

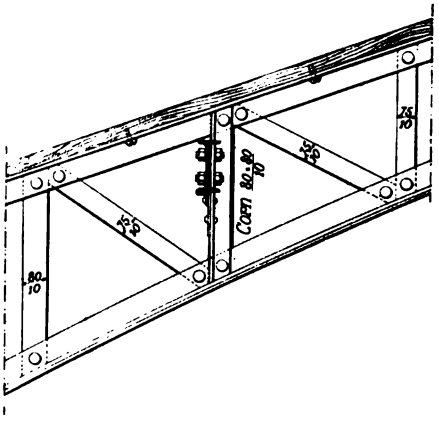


Fig. 868. — Assemblage de panne sur arbalétrier avec simple cornière.

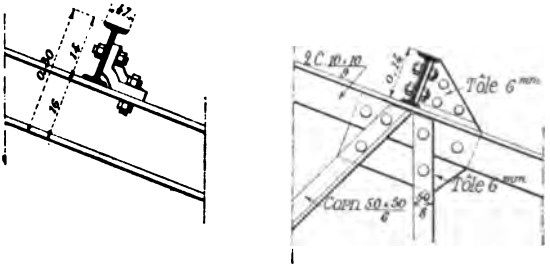


Fig. 869 et 870. — Assemblage de pannes sur arbalétriers au moyen d'équerres.

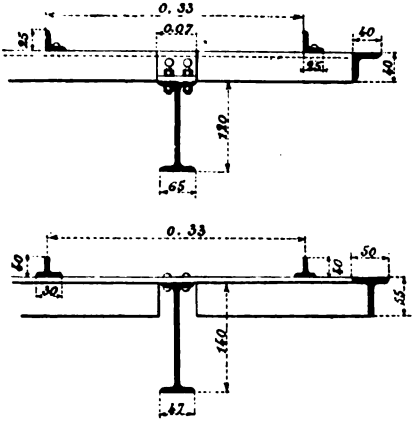


Fig. 871 et 872. — Assemblage de chevrons sur les pannes à l'aide d'équerres.

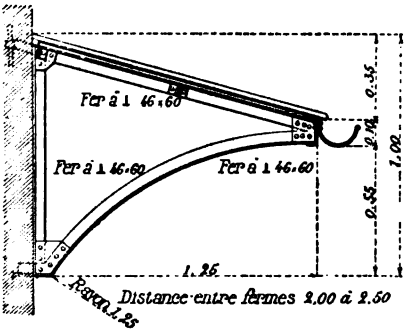


Fig. 873. — Marquise en fers à simple T assemblée par plaques en tôle.

Fig. 874. — Coupe d'une contre-fiche en fonte.

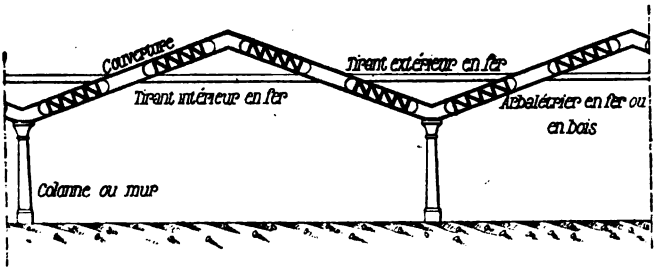


Fig. 875. — Charpente Chaudy, avec tirant général en partie intérieure et extérieure.

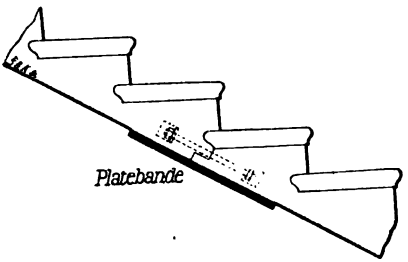


Fig. 876. — Escalier à crémaillère.

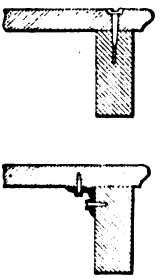


Fig. 877. — Semelle posée sur la crémaillère à l'aide de vis ou d'une cornière et de tire-fonds.

limon prend généralement la forme d'une *crémaillère* (escalier demi-anglais); sur chacune des parties horizontales des crans du limon, on visse l'un des abouts d'une marche; la partie verticale de la crémaillère est coupée à onglet qui reçoit l'onglet de la contre-marche. L'about d'une marche, opposé à celui qui est porté par le limon, est généralement scellé dans la maçonnerie de la cage ou porte sur un *faux limon* posé contre le mur; un *boulon d'écartement*, dont un bout est scellé dans le mur, maintient le limon à sa place.

Les marches peuvent porter leur limon, de sorte que, par une coupe spéciale, au fur et à mesure qu'on pose les marches, l'ensemble de celles-ci forme le limon; ce mode de construction donne un déchet considérable. Parmi les limons en bois, citons

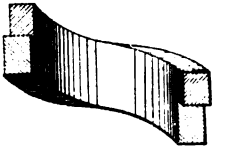


Fig. 878.

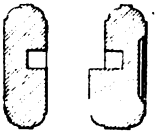


Fig. 879.

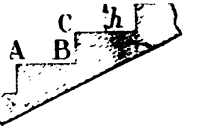


Fig. 880.

les limons à crossettes (*fig.* 878 et 879) et ceux à redans assemblés entre eux à tenon et mortaise (*fig.* 884). Indépendamment de leur coupe, les limons sont soutenus et réconfortés par des boulons d'assemblage qu'on loge dans leur épaisseur, par des plates-bandes en fer encastrées et vissées en-dessous du limon; enfin par des tirefonds. Un limon a de 5 à 8 centimètres d'épaisseur; les marches sont encastrées de 2 centimètres 1/2 dans le limon.

Pour la marche, on distingue : 1° le *giron*, largeur AB (*fig.* 880) comptée au milieu (non compris la moulure qui termine la marche et fait saillie); 2° l'emmarchement, longueur de la marche; 3° la hauteur ou contre-marche BC.

La marche porte au-dessous et près de l'*astragale* une rainure où vient s'engager la languette de la *contre-marche*, planche verticale qui s'applique à onglet sur les parties verticales de la crémaillère.

La *rampe*, ou *volée* d'escalier, est une suite non interrompue de marches. Le *palier*, ou *repos*, est un giron étendu, sur lequel on doit pouvoir faire un pas et dont le but est de se reposer pendant l'ascension. Le palier est plus spécialement le giron où l'on stationne avant d'entrer dans les appartements.

Les rampes, ou volées, sont généralement composées d'un nombre impair de marches, 13, 15 ou 19 au maximum.

La première marche du rez-de-chaussée est posée sur le sol; elle sert de base au limon; on la termine du côté du limon par

une volute. Elle est souvent en bois, si le rez-de-chaussée est planchéié ; s'il est dallé ou carrelé, elle est en pierre.

Le mur d'*échiffre* est le mur rampant sur lequel porte le limon. Le *quartier tournant* reçoit aussi le nom d'échiffre.

L'*échelle de meunier* est un escalier pour monter au grenier (en

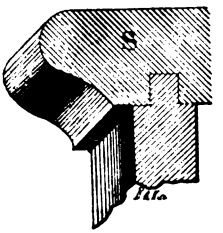


Fig. 881.

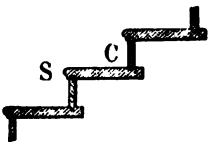


Fig. 882. — Marche en bois.
S, semelle.
C, contre-marche.

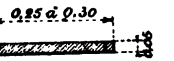


Fig. 883. — Marche simple pour échelle de meunier.

chêne ou sapin), où l'on n'emploie pas de contre-marches et dont les rampes sont droites (*fig.* 883).

Dans un escalier un peu soigné à *rampe droite* (qu'on emploie lorsque l'espace le permet), il faut ménager un repos carré (aussi long que la largeur de marche) au milieu.

Les marches sont *droites*, si elles sont de même largeur dans toute leur étendue ; si leur surface est en forme d'équerre, elles sont *dansantes*, et leur *rampe circulaire* (escaliers tournants).

Les marches d'escalier peuvent être *pleines* ou massives, ou faites par assemblages.

Dans le premier mode, qui est surtout exécuté en pierre (escalier incombustible), chaque marche est taillée et profilée dans la masse, c'est-à-dire que le giron, le joint et la douelle sont pris dans la même masse. On fait aussi des marches pleines en bois.

Dans le second cas, les escaliers sont constitués par des planches verticales et horizontales en bois, assemblées à rainures (sur la marche) et à languettes (sur la contre-marche). Dans les escaliers en fonte, les marches, contre-marches et noyau sont fondus d'une seule pièce ; on les superpose par emboîtement qu'on maintient par des boulons d'assemblage.

On construit des escaliers à *limon continu*, qui peuvent être de plusieurs morceaux dans leur étendue rampante ; les diverses parties de ce limon sont reliées par des plates-bandes en fer plat, entaillées de leur épaisseur et fixées à vis sur le limon.

Les escaliers dont un limon est dégagé s'appellent *escaliers suspendus*. Les escaliers à *rampes droites à jour* sont une suite de plusieurs rampes droites, interrompues par des paliers et laissant un vide entre elles. Les escaliers à *quartier tournant*

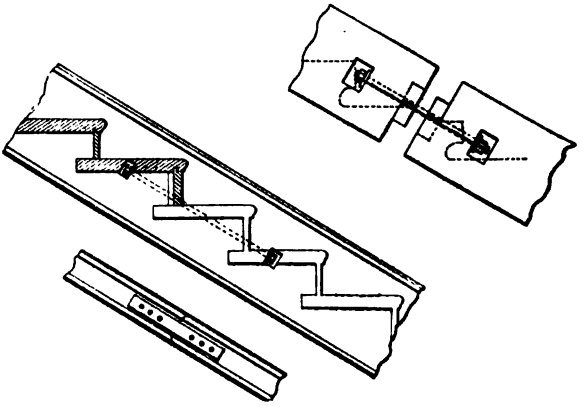


Fig. 884. — Limon d'escalier en bois consolidé par un tenon et une mortaise.

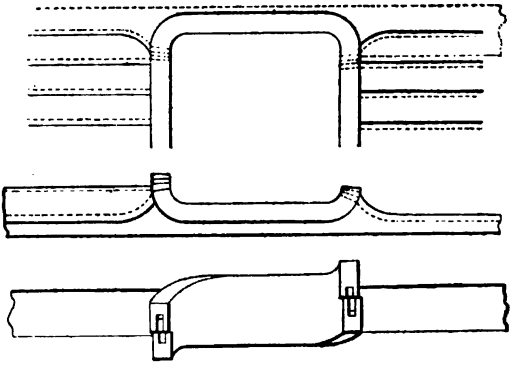


Fig. 885. — Jonction des limons avec un palier.

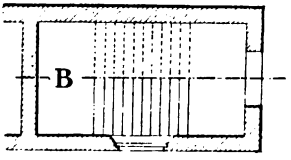


Fig. 886. — Plan d'un escalier à 2 volées séparées par un palier intermédiaire B.

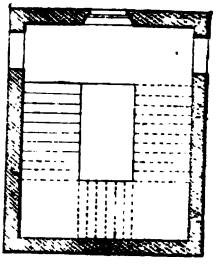


Fig. 887. — Escalier dont les volées sont séparées par un espace libre ou *jour*.

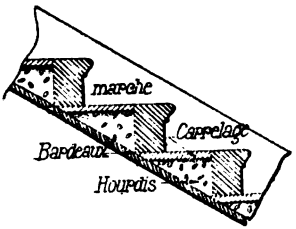


Fig. 888. — Marches en bois avec remplissage de hourdis surmonté d'un carrelage.

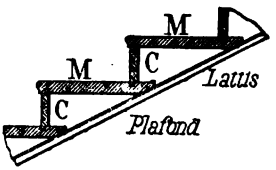
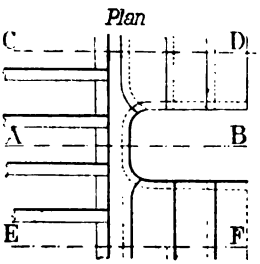
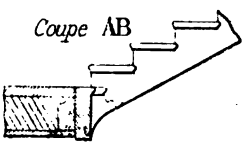
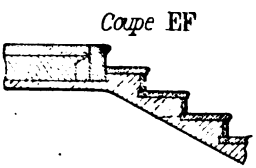


Fig. 889. — Marches dépassant les contre-marches à la partie postérieure.







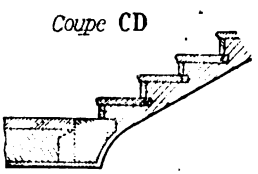


Fig. 890. — Jonction d'une crémaillère et d'un palier.

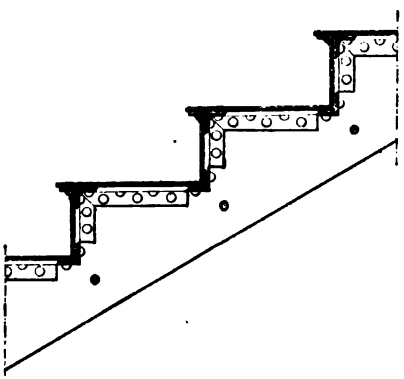
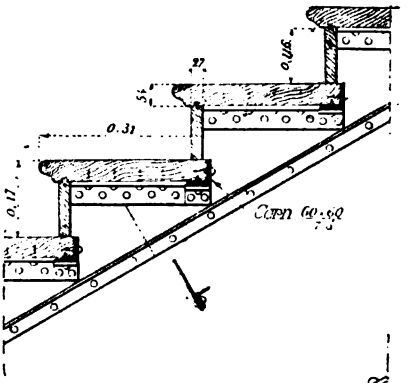


Fig. 891. — Escalier en fer avec marches et contre-marches en fer.



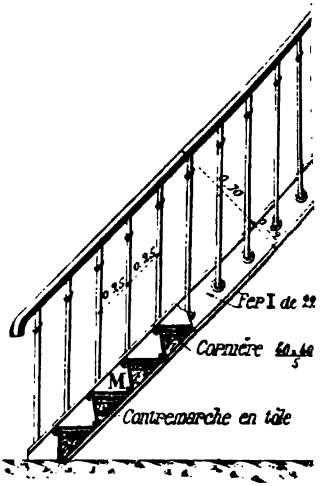


Fig. 893. — Escalier à limon en fer (pour usines). Les marches sont assemblées sur le limon d'un côté, et scellées dans le mur, de l'autre.

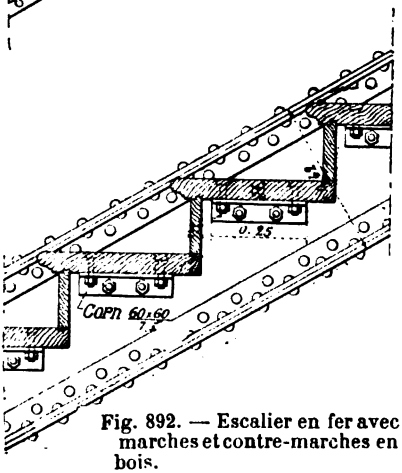


Fig. 892. — Escalier en fer avec marches et contre-marches en bois.

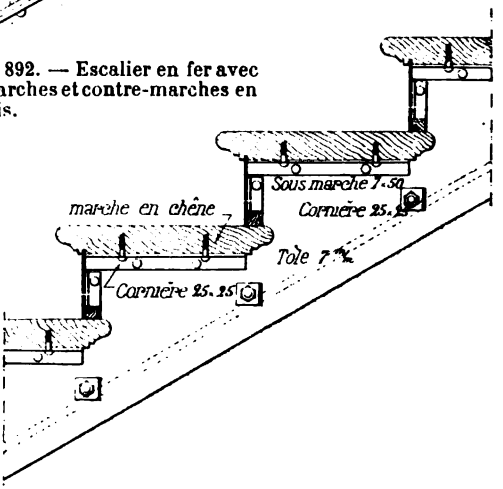


Fig. 894. — Escalier à l'anglaise à limon découpé en crémaillère (marches en bois, contre-marches en tôle, sous-marches en fers plats).

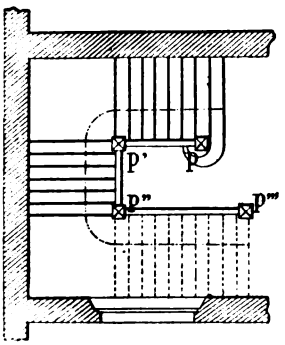


Fig. 895. — Pilastres de butée.

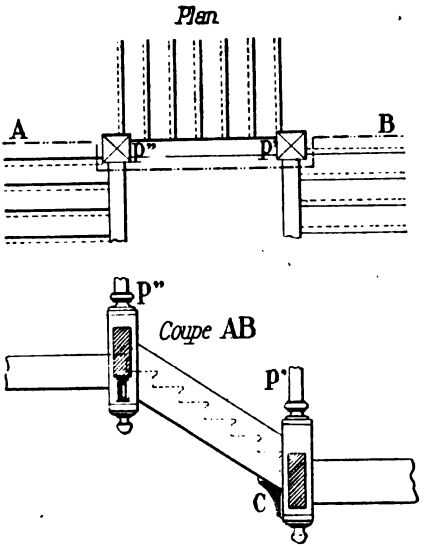


Fig. 896. — Détails de la figure 895.

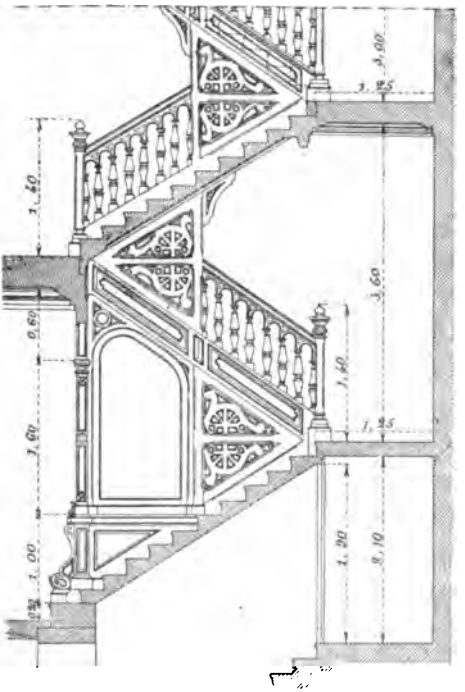


Fig. 897. — Escalier à limons superposés.

Fig. 898. — Escalier droit entre murs parallèles.

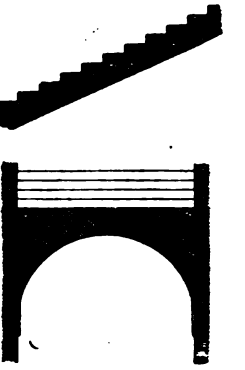


Fig. 899. — Escalier droit porté sur voûte en berceau incliné.

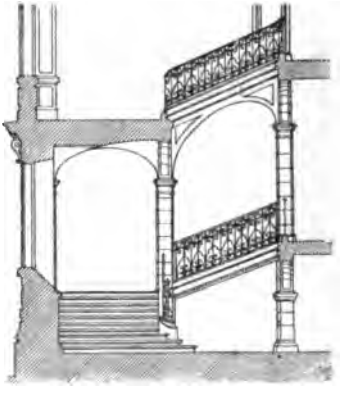


Fig. 900. — Escalier sur voûte en arc rampant.

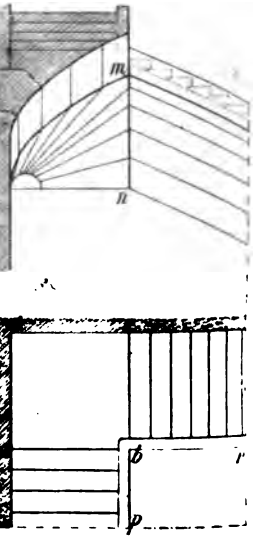


Fig. 901. — Escalier sur demi-voûte en descente et trompe conique.
abcd, palier de repos.
mn, intersection d'une demi-voûte en descente par un plan vertical.

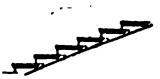


Fig. 902. — Escalier suspendu à marches apparentes à leur extrémité libre.

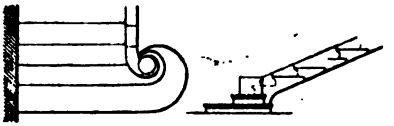


Fig. 903. — Escalier suspendu à limon.

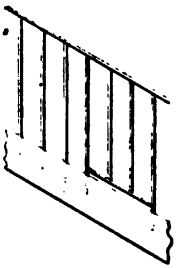


Fig. 904. — Rampe en fer enfoncée dans le limon (Une bandelette en fer de 0m,025 de large et 0m,005 à 0m,010 d'épaisseur reçoit la main courante en bois).

Fig. 905. — Rampe en *col de cygne.*

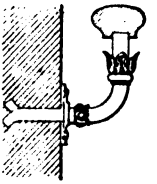


Fig. 906. — Main courante et supports (*écuyers*) scellés dans le mur.

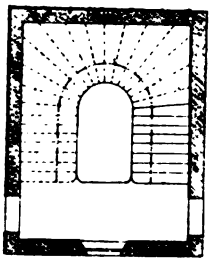


Fig. 907. — Escalier à 2 rampes contraires et à marches tournantes, sans palier.

Fig. 908. — Escalier circulaire à noyau plein.

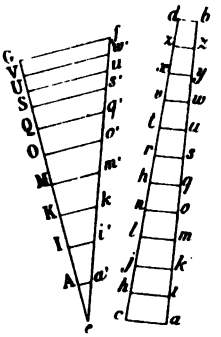


Fig. 909.

ont même disposition; mais les alignements des limons sont réunis par des parties circulaires. Les escaliers *ronds suspendus*, *vis à jour*, sont ceux dont la projection du limon intérieur est une demi-circonférence. L'*escalier en fer à cheval* est celui dont le limon se projette suivant un arc de cercle plus grand qu'une demi-circonférence. Les deux côtés de la rampe se réunissent à un même palier.

Les escaliers *en biais* n'ont pas d'ouverture ou de vide (puits), et leurs rampes, la balustrade, l'élévation progressive et les contours retombent sur les mêmes plans.

Dans les *escaliers ronds*, les marches portent par un bout dans le mur de la cage, par l'autre sur le noyau du centre.

Les escaliers ronds ou circulaires et elliptiques sont ceux qui prennent le moins d'espace; ce sont les seuls possibles pour tourelles.

Le minimum d'espace dans lequel on peut établir un *escalier circulaire* (tournant sur lui-même comme une vis), dont les marches ont $0^m,16$ de haut ou de pas, $0^m,32$ de giron ou de largeur et $1^m,95$ d'échappée (hauteur pour passer au-dessous d'une rampe d'escalier), est un espace circulaire de $2^m,31$ de diamètre, dans lequel on peut installer 13 marches (*fig.* 908). Pour avoir l'échappée, lorsque la place est restreinte, on est obligé de donner aux escaliers des formes contournées.

Quel que soit le plan d'un escalier, la division des marches doit être faite également sur une ligne passant par le milieu des rampes. Lorsqu'il y a des parties tournantes, leur division se fait sur un arc de cercle qui se raccorde avec le milieu des parties droites, qui sont au-delà des cercles inscrits au droit des marches tournantes (*fig.* 907).

Pour terminer le développement d'un escalier, on divise la hauteur à franchir en parties de $0^m,16$ à $0^m,18$ de haut, ce qui donne le nombre de marches; on multiplie ce nombre, diminué d'une unité, par la largeur que l'on veut donner à la marche ou giron.

Pour *tracer les marches tournantes* sur une droite arbitraire *ab* (*fig.* 909), on porte autant de divisions égales qu'il doit y avoir de marches entre la plus étroite et la plus large, plus une... On élève les perpendiculaires *ac* et *bd*, auxquelles on donne respectivement la plus grande et la plus petite largeur de marche (déterminée à volonté). On joint *c* et *d* et, de tous les points de divisions on élève des perpendiculaires à *a* et *b*. Sur une autre droite *ef* on reporte à la suite les unes des autres, à partir de *e*, les longueurs *ca*, *hi*, *jk*, etc. (qui vont toujours en diminuant), en *e'*, *a'*, *a'*, *i'* *k'*, etc. Du point *e* on tire une ligne quelconque *eg*, à laquelle on donne comme longueur *eg* l'étendue du limon, y compris le développement de la partie circulaire jusqu'à la

marche la plus étroite. On joint *fg*, puis l'on mène des parallèles à *fg* par les points *a'*, *i'*, *k'*, etc., précédemment reportés sur la droite *ef*. Les points A, I, K, etc., déterminés sur la droite *eg* seront où les marches dansantes devront aboutir au limon.

Balancement des marches. — Considérons un escalier dont les 2 rampes sont très rapprochées et n'admettent qu'un seul tournant (*fig.* 910 et 911).

La *ligne de foulée abcde* se compose d'une demi-circonférence *bcd* raccordée aux 2 droites *ab*, *dc*. Si les arêtes des marches étaient normales à cette courbe, comme l'indique le pointillé, on voit qu'aux points de raccordement il y aurait une différence de giron très brusque du côté de la balustrade, en passant de la rampe droite au quartier tournant. Cette différence occasionnerait une fatigue et produirait un jarret désagréable dans le limon de la main courante de la balustrade, à chacun des points de raccord B et D.

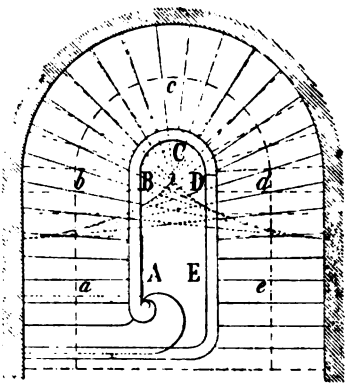


Fig. 910.

Aussi s'arrange-t-on pour passer du plus grand giron au plus petit en inclinant de plus en plus les arêtes sur la normale à la courbe, à mesure qu'elles se rapprochent de ces points. Cette opération s'appelle le *balancement des marches*.

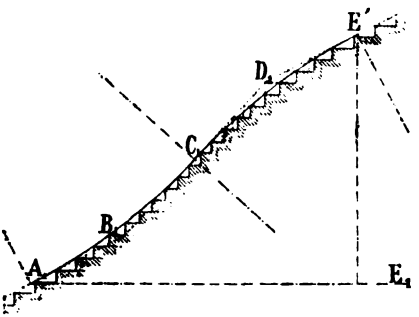


Fig. 911.

Sur une horizontale on porte en A_1E_1 la projection horizontale développée de la portion du limon comprise entre A et E avec les points de rencontre des arêtes des marches supposées normales à la ligne de foulée. Sur la verticale du point E_1, on porte en E_1E' une longueur égale à la hauteur qui sépare les marches *a*, *e*, et on la divise en autant de parties égales qu'il y a de marches dans cet intervalle. Si, par les points de division de A_1E_1, on

élève des verticales ou ordonnées, et si, par les points de division de E_1E', on mène des lignes horizontales ou abscisses, leurs intersections donneront le développement de la crémaillère formée par les têtes de marches du côté du limon, on voit que la ligne circonscrite à ce développement $A_1B_1C_1D_1E'$ est une ligne brisée dont les deux angles B_1, D_1 correspondent aux jarrets du limon. On remplace cette ligne brisée par une courbe à inflexion qui lui est tangente extérieurement en A' et C', et intérieurement en C_1 et E'. On prolonge jusqu'à cette courbe les abscisses déjà tracées, et les distances horizontales de leurs intersections successives avec elles sont substituées dans la partie ABCE aux girons précédents. La figure indique en traits continus les nouvelles marches de l'escalier ainsi balancé.

La position des points A et E n'est pas complètement indifférente. On la choisit de sorte que la transition soit bien ménagée entre les girons de la partie droite et ceux de la partie courbe.

Les bois des quartiers tournants étant affaiblis, on *ferre* les

Fig. 912. — Marches en pierre décorées d'un encadrement à moulures en creux.

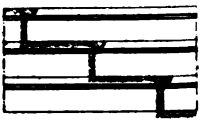


Fig. 913. — Marches en bois décorées d'un *nez* (corps de moulures saillant).

escaliers par des *plates-bandes* logées dans des entailles au limon, près des joints des pièces du quartier tournant. Ces pièces sont consolidées par un boulon de serrage. On fait des marches d'escaliers en pierre en plusieurs parties et d'une construction analogue à celle des marches en bois. On fait des limons d'escaliers en fer, supportant des marches en pierre.

La dernière marche d'une volée, en montant, ou *marche palière*, a pour longueur la largeur de la cage et se scelle dans les murs de la cage à ses deux extrémités. Elle sert de point d'appui aux deux limons des rampes qui y aboutissent et reçoit, dans une rainure, la languette de la contre-marche de la rampe ascendante.

Les escaliers se posent après ravalement général, mais avant ravalement de la cage. Pour préserver les marches des chocs, on cloue légèrement sur le bord une *tringle* que l'on n'enlève qu'après les travaux de peinture, au moment du rabotage des marches.

Le dessous des marches se plafonne sur lattis ; il est inutile de raboter ou lisser ce qui est caché, une fois l'escalier terminé. Le

bois à employer doit être exempt d'aubier, de nœuds ou de gerçures.

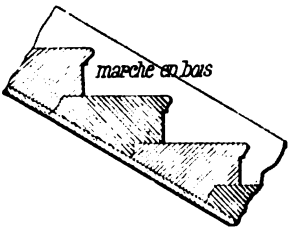


Fig. 914. — *Escalier de luxe à l'anglaise*, sans limon ; les marches sont pleines et à recouvrement, emboîtées l'une sur l'autre par joint pendant. Les marches sont réunies par des piliers en fer (*clefs*) entaillées dans des joints et serrées par dessous au moyen de chevilles (système coûteux).

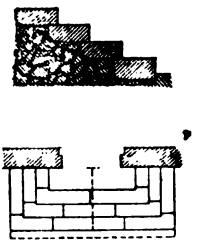


Fig. 915. — Perron à marches rectangulaire.

Un escalier en chêne (marche de 1 mètre de largeur d'emmarchement et 0m,054 d'épaisseur) à limon, scellé d'un bout, avec contremarche de 0m,027 d'épaisseur, vaut 21 fr. 45 la marche pour quartier tournant.

Proportions usuelles

	LARGEUR de giron au milieu DES MARCHES	HAUTEUR de MARCHE	LARGEUR de L'ESCALIER
	m.	m.	m.
Palais, châteaux	0,32 à 0,48	0,13 à 0,15	2,00 à 3,00
Etablissements publics	0,32	0,15	1,80 à 2,00
Habitations	0,26	0,16 à 0,18	1,00 à 1,25
Caves et greniers	0,20	0,21	0,50 à 0,75

Perrons. — Les perrons sont des escaliers extérieurs destinés à racheter une différence de niveau moindre d'un étage.

La figure 915 montre un perron ordinaire à marches parallèles à la façade. On fait reposer les pierres formant les marches sur un massif en maçonnerie pleine. Les marches, taillées seulement sur leurs faces apparentes, se recouvrent réciproquement de 0m,02 ou 0m,03 ; les retours s'encastrent par leurs extrémités dans le soubassement de l'édifice d'environ 0m,04.

La marche supérieure prolonge le seuil de la porte d'entrée et forme palier ; on ne peut lui donner moins de 0m,50 de largeur. Le giron des autres marches est d'environ 0m,30.

La face supérieure est taillée suivant un plan légèrement incliné ou *devers* pour laisser écouler les eaux.

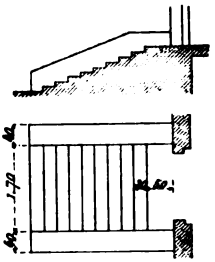


Fig. 916.

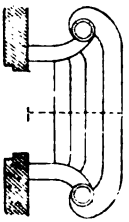


Fig. 917.

Les marches peuvent être rectangulaires (*fig.* 915) ; mais les

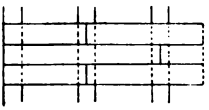


Fig. 918.

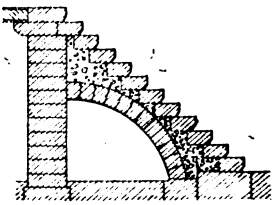


Fig. 919.

plus usitées sont le pan coupé à 45° ; on l'arrondit par un quart

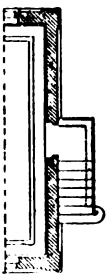


Fig. 920. — Perron à une seule rampe.

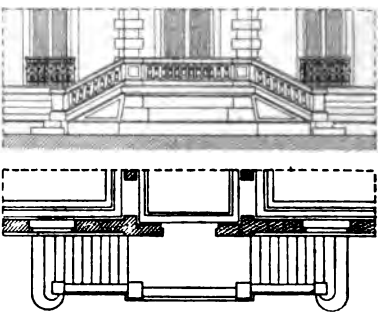


Fig. 921. — Perron à 2 rampes.

de cercle à la place des deux angles antérieurs. On supprime quelquefois les retours des marches, et on n'en conserve que la

partie parallèle à la façade qu'on limite alors par deux murs latéraux droits (*fig.* 916) ou courbes (*fig.* 917). Ces murs s'élèvent en chaque point un peu au-dessus de la marche correspondante, soit qu'ils affectent la forme de redans successifs, soit qu'ils aient comme pente uniforme celle de l'escalier (*fig.* 916). Ces perrons peuvent être posés sur un massif plein ou, si la longueur des marches n'est pas trop considérable, eu égard aux charges, on se contente d'encastrer leurs abouts dans les deux murs latéraux.

Lorsque les perrons ont des largeurs ou *emmarchements* ne permettant pas de faire les marches d'une seule pierre, on construit de petits murs intermédiaires et on croise les joints (*fig.* 918). On peut remplacer les murs par un arc dont les reins portent un remplissage sur lequel on fait reposer les marches (*fig.* 919).

On peut supprimer l'un des murs d'échiffre du perron, en se servant comme appui, pour l'une des extrémités des marches, du soubassement de l'édifice. L'autre extrémité repose alors sur un mur extérieur, limité aux marches (*fig.* 920), ou les dépassant pour porter une balustrade en pierre (*fig.* 921).

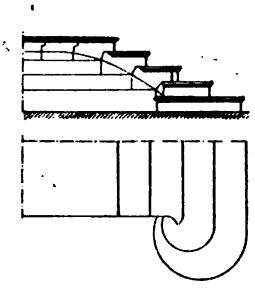


Fig. 922.

Ces perrons peuvent être construits comme les escaliers suspendus. La première marche sera fortement encastrée dans le massif de fondation pour résister à la poussée de la voûte formant le dessous de l'escalier (*fig.* 922).

CHAPITRE XI

SERRURERIE, PAVAGE, COUVERTURE

Serrurerie. — En serrurerie on distingue :

1° Les *fers forgés :* gros fers et autres façonnés au marteau et non travaillés à l'établi (chaînes, tirants, ancres, linteaux, colliers, étriers ; citons encore les *plates-bandes*, barres de fer plat qui se posent sur les barres d'appui et sur les rampes ; les *manteaux de cheminée*, pièces de fer portant sur les jambages ou sur les corbeaux et qui soutiennent la partie supérieure de la cheminée ;

les *bandes de trémie ;* les grilles dormantes pour fenêtres avec barreaux de fer, etc. ;

2° Les *fers d'assemblage :* grilles, balcons, rampes d'escaliers, etc. ;

3° Les *ferrures* ou *quincailleries.*

Les *grilles de clôture* les plus usitées ont les montants et barreaux, ronds ou carrés, d'un seul morceau. Les barreaux passent au travers de 2 barres de fer (percées au foret) transversales (*traverses* ou *sommiers*); quand les barreaux sont séparés par des piles. En maçonnerie, les traverses sont scellées dans les piles. Les clôtures légères ou grilles en fers ronds de 6 millimètres, de 1 mètre de haut, valent 6 francs le mètre ; celle de 1m,50 de haut, avec barreaux de 8 millimètres, valent 13 fr. 25 ; celles de 1m,50 de haut, avec barreaux de 16 millimètres, valent de 14 fr. 50 à 50 francs le mètre, suivant l'ornementation. Une porte à un vantail, peinte au minium, formée de barreaux en fer rond de 16 millimètres, et large de 0m,75, vaut de 70 à 75 francs, prête à être posée. Une porte à deux vantaux, avec barreaux de 16 millimètres et 1m,50 de large, vaut 240 à 260 francs.

Les *serres* (O. André, à Neuilly, etc.) sont le plus souvent en

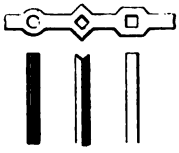


Fig. 923. — Types de traverses en fer forgé, percées de trous de même diamètre que les barreaux.

Fig. 924.

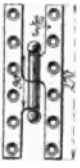


Fig. 925. Paumelle.

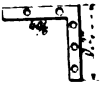


Fig. 926. Equerre.

fer porté sur des assises en briques. Une serre adossée de 4 mètres × 3 mètres vaut 1.255 francs.

Les *passerelles* en fer pour jardins (largeur, 1m,10) valent 45 à 50 francs le mètre jusqu'à 6 mètres de long.

Les *marquises* métalliques (vitrées en verre blanc) sans chéneau, peintes au minium, à 1 pente (2m,070 × 1m,150), valent 47 francs ; avec 3 pentes (2m,500 × 1m,250), elles valent 85 francs.

Les marquises métalliques avec chéneau à 3 pentes (2m,300 × 1m,150) valent 250 francs avec verre strié.

On fait des *balcons* en fer forgé ou fonte.

Les *rampes des escaliers* à l'anglaise (qui n'ont pas de limon) se font en bois, plus souvent en fer rond, portant par le bas un tenon rond taraudé, ajusté et monté sur un piton ou support à tête généralement carrée, percée d'un trou recevant le tenon du barreau et posé à vis (escaliers en bois) ou à scellement (escaliers

en pierre). Les pitons se posent à l'extérieur des marches. La main courante est en bois.

Dans certaines rampes, les barreaux sont coudés à col de cygne (*fig.* 924) par le bas, posés sur le côté de la marche, soit à point, soit à patte fixée avec des vis, et ornés de patères en cuivre ou fonte.

Serrures, etc. — On en fait entre 33 millimètres et 24 centimètres. La face principale d'une serrure est un *palastre*, plaque en fer battu, qui supporte la broche, la bouterolle, etc. La pièce posée au palastre est la *couverture*, partie visible de la serrure ; les quatre autres faces en forment l'épaisseur. La face traversée par le pène est le *bord* ou *rebord;* les trois autres sont les *cloisons*. Le *pène*, verrou en fer que la clef fait aller et venir, se meut sur le palastre ; il est contenu par un ressort qui le comprime et qui s'introduit dans des coches *ad hoc*. La porte est fermée lorsque le pène est engagé dans la *gâche*, qui n'est souvent qu'un simple crampon en fer.

On distingue : la serrure à *veille*, qui sert à ouvrir un loquet; la serrure *bénarde*, qui s'ouvre de deux côtés; la serrure à *demi-tour*, dont le pène se pousse avec un bouton, une pomme, une olive, et

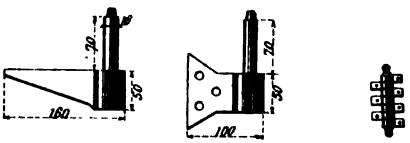


Fig. 927. Fig. 927 *bis*.

qui s'ouvre aussi avec un demi-tour de clef ; la serrure à *pène dormant*, dont le pène ne se meut qu'au moyen d'une clef; la serrure à *deux fermetures*, qui se ferme à deux pènes ; la serrure de *sûreté*, dont les garnitures (bouterolles, pertuis, planches, râteaux, rouets) sont très soignées et dont les pièces, rivures, brasures sont parfaitement finies.

Les *gonds* à scellement et à repos s'emploient pour volets extérieurs et persiennes.

Les *loqueteaux* simples ou coudés sont de petits loquets à ressort, attachés au haut des fenêtres ou des persiennes et qu'on ouvre en tirant une corde métallique.

Les *pivots à équerre* sont employés pour portes cochères et portes se fermant seules.

On emploie encore les *gonds à point simple* et à *point de repos* (*fig.* 926), des *pivots à équerre et crapaudine* pour portes, des *charnières*, ferrures de placards, armoires, portes, volets, etc., des *pommelles* ou *paumelles simples* en **T** ou en double **T**, la *pommelle simple* en **S**, pour portes et fenêtres, les *tourniquets* pour fixer les

volets et les persiennes, les *pommelles simples* à queue d'aronde, les *fiches à vases*, les *charnières à un ou deux coqs*, les *charnières à branches*, les *couplets à pans*, les *loquets* pour les volets et portes, les *espagnolettes* ou *crémones* (avec gâchettes haut et bas, recevant le crochet, les supports du haut, du bas et du milieu, la poignée, l'agrafe et le contre-panneton), les *fiches à gonds* pour portes pesantes, les *fiches à nœuds* pour guichets, les *fiches à broches*, les *verrous* à ressort sur platine, les *targettes*, les *poignées brisées*, les

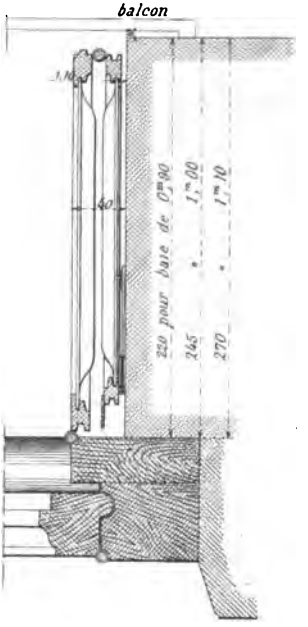


Fig. 928. — Persienne brisée en fer avec ébrasement réservé à l'intérieur (4 vantaux), système Arnould Guibourgé.

Fig. 929. — Coupe verticale d'une pièce d'appui avec zinc ou plomb

crochets, etc. Souvent on consolide les angles des battants par des *équerres* en fer fixées par des vis; ces équerres portent souvent un nœud qui s'emboîte sur la broche du gond.

Les *pentures* sont des bandes de fer méplat terminées par un œil ou anneau dans lequel entre le gond, et qu'on cloue sur la porte; elles servent à tenir les portes ouvrant et fermant. La tenture peut être soudée ou ployée.

Les *portes* d'appartement ne doivent pas être suspendues par des charnières; car, si l'on avait besoin de déposer la porte, on

abîmerait la peinture et la menuiserie ; on emploie donc pour les portes pleines les gonds et fiches à broches et à bouton (*fig.* 927), dont tous les nœuds sont enfilés dans une même broche.

Les *boutons* de serrure se font en cuivre, cristal ou porcelaine blanche ou peinte ; ces deux derniers sont les meilleurs ; ils ne se ternissent pas comme le cuivre.

On fait des serrures invisibles qui se posent dans l'épaisseur des portes ; elles sont un peu plus coûteuses.

Pour les *fenêtres*, on attache les châssis mobiles ou bâtis au dormant, portion de la fenêtre scellée contre la maçonnerie au moyen de pattes à scellement, à l'intérieur, dans la feuillure. Ces pattes doivent être encastrées, affleurer la menuiserie, être invisibles. On attache le châssis vitré au bâti par trois ou quatre fiches à broche ou à vase.

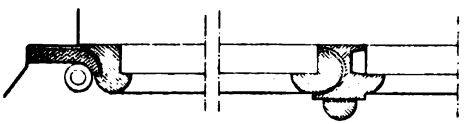


Fig. 930. — Menuiserie métallique (Moreau frères), montant pour dimensions ordinaire. Coupe horizontale.

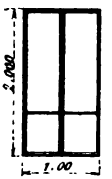


Fig. 931. — Croisée simple en fer.

La *fermeture* des châssis mobiles d'une fenêtre se fait par l'espagnolette. On fait des crémones à tige cachée ; la croisée se ferme par un demi-tour de la poignée, et la fermeture se fait simultanément en trois points, en haut, en bas et à mi-hauteur.

Quand il y a des volets intérieurs, on ajoute deux petits *pannetons* ou *ailerons*, tenons qui tiennent les volets fermés. Les deux châssis mobiles se munissent haut et bas, à l'intérieur, d'équerres en fer.

Aussitôt la menuiserie ferrée, il est bon de lui donner une première couche de peinture à l'huile (*impression*). Les ouvrages de serrurerie doivent être peints ou goudronnés avant leur pose.

Pour les magasins on emploie des *rideaux* ou fermetures en fer ou en tôle d'acier ondulée (Grafton, Jomain et Sarton, etc.) ; certaines de ces fermetures, de 6 mètres de long, se remontent en une minute, au moyen d'une manivelle ; elles se roulent ou se montent dans un petit espace ; ces rideaux valent de 14 francs à 30 francs le mètre carré.

On fait de plus en plus des fenêtres et portes en fer et bois et même entièrement *métalliques* (*fig.* 930). Ces dernières ont l'avantage de donner une surface éclairante de 1/3 supérieure aux

croisées en bois. La maison Mazellet fabrique des croisées en fer de $2^m,10 \times 1^m,10$, qui reviennent à 60 francs. La durée de ces fenêtres les rend plus économiques que celles en bois.

Prix de divers objets en fonte

	Les 100 kilogr.
Colonnes pleines unies ou à double étage..	19 et 20 francs
— creuses	24 à 25 —
Balcons de croisées en fonte ordinaire.....	34 —
— Les mêmes recoupés.....	44 —
— de croisées à motifs cintrés.....	65 —
— Les mêmes recoupés.....	75 —
Panneaux de grands balcons ordinaires....	34 —
Balustrades ordinaires ou recoupées	34 et 44 —
Barres d'appui en fonte.....	40 —
Panneaux de portes simples ou à sujets...	65 à 80 —
Garnitures de rampes, sans pièces.....	55 —
— — à pièces battues....	70 —
— — écrous en plus, les 100	8 —
— — creuses	100 —
Pilastres pour rampes, unis, ornés ou à pièces battues	50 à 70 —
Réchauds en fonte	38 à 42 —
Cylindres en fonte.....	32 à 36 —
Cloches de moins de 1,05.....	30 à 36 —
Tambours de cloches (barreaux pesés avec).	34 —
Cercles — — —	34 —
Barreaux droits.....	34 à 36 —
— de cloches.....	32 —
— cintrés.....	36 —
Pots ou foyers de fourneaux ronds, octogones, carrés ou ovales.....	38 à 40 —
Châssis de fosse..... la pièce.	60 à 120 —

Dallage, carrelage, pavage [1]. — Le *dallage* s'applique aux surfaces non exposées au roulement des voitures ni aux chocs. Les pavements avec petits cubes de marbre ou de terre cuite se nomment *mosaïque*. L'application des dalles sur parois verticales s'appelle *revêtement*.

Les dalles sont posées sur béton, ou à bain de plâtre ou de mortier de chaux et de sable; dans les intérieurs on peut les poser sur bitume, comme certains genres de parquets dits à la *gourouechon*. La pierre employée pour fabriquer les dalles ne doit être ni tendre, ni gélive, ni posée en délit. Les dalles ont de $0^m,05$ à $0^m,12$ d'épaisseur. Les *formes* doivent être fortement pilonnées, et leurs joints *démaigris*.

Le *carrelage* [2] se fait pour les pièces qui doivent être tenues

[1] Consulter Georges LEFEBVRE, *Voie publique*, 1896.
[2] Voir p. 807.

fraîches et les dépendances. Les carreaux en terre cuite sont triangulaires, carrés, hexagonaux, octogonaux, etc., et ont 0m,027 d'épaisseur pour les chambres; il en faut de 40 à 80 par mètre carré, et le poids du mille varie de 350 à 900 kilogrammes. Les carreaux carrés de 0m,02 de côté sont dits *carreaux à bande*.

Les carreaux de Bourgogne sont les plus résistants à l'humidité; viennent ensuite ceux de Massy (Seine-et-Oise), de Vaugirard, etc.

Les carreaux carrés sont employés pour fourneaux de cuisine. A Trèbes, près Carcassonne, et Saint-Henri, on fabrique des carreaux dont la surface est polie et vernie. Il y a avantage à employer des carreaux de peu de surface, afin d'éviter que, s'ils étaient trop grands, ils ne soient *gauches*.

Avec les carreaux carrés on peut alterner les joints transversaux ou faire suivre les joints dans les deux sens, ou les poser en quinconce ou en échiquier, c'est-à-dire les joints diagonalement aux faces de la pièce, etc.

La main-d'œuvre des carrelages se paye de 0 fr. 35 à 0 fr. 45 le mètre carré.

Carreaux hexagonaux	Au mètre carré	*Carreaux carrés*	Au mètre carré
De 0m,22	25	De 0m,22	21
De 0m,152 à 0m,16	46	De 0m,20	25
De 0m,16 à 0m,17	42	De 0m,15 à 0m,16	46

	Le mille	
Carreaux en terre cuite de Bourgogne, de 0m,16	65 fr.	»
— — — 0m,22	150	»
Carreaux en terre cuite de Vaugirard :		
De Beauvais : 0m,28 hexagonaux	150	»
— 0m,16 — minces	50	»
— 0m,16 — épais	65	»
De Paris : 0m,16	50	»
— 0m,16 carrés	60	»
De Beauvais : 0m,16 —	60	»
Carreaux de faïence de Vaugirard	60 à 70	»
Une *plinthe* en carreaux émaillés noirs pour cuisines et offices ..... le mètre	2	»
Les plinthes en ciment Portland, sans saillies jusqu'à 0m,25 de hauteur ..... le mètre linéaire	2	50
Et avec saillie de 0m,01 à 0,02	3	50
Briques en grès (Pouilly-sur-Saône); celles de 60 × 110 × 220, pleines ..... le mille, de	80 à 100	»
Les briques creuses en grès se font de 25 à 60 × 110 à 200 × 220 à 300; avec 2, 4 et 6 trous, pèsent 1k,5 à 7 kilog ..... le mille, de	80 à 500	»

On les emploie pour les constructions exposées à l'humidité et pour dallage; leur durée peut être considérée comme indéfinie.

Les **carrelages** et **pavages céramiques**, cuits à une haute tempé-

rature, se répandent beaucoup. Ces carreaux se posent sur couche de ciment de 0m,01 à 0m,015 d'épaisseur, placée elle-même sur forme de béton de 0m,08 à 0m,15, ou de mâchefer de 0m,08 à 0m,10. On remplit les joints de ciment pur ou de poudre de ciment.

Les carreaux céramiques de couleur, de la maison A. Defrance, à Pont-Sainte-Maxence (Oise), de 0m,010 à 0m,024 d'épaisseur, n'exigent aucun frais d'entretien pendant 10 ans. Le prix du mètre carré varie de 5 à 6 fr. 50 pour les carreaux de 0m,16 × 0m,16, à fond uni [1].

La Société des Carrelages céramiques de Paray-le-Monial

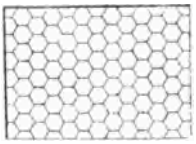


Fig. 932.

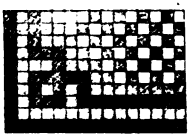


Fig. 933.

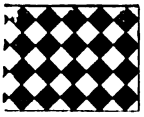


Fig. 934.

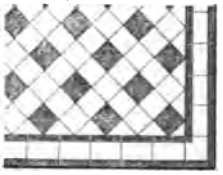


Fig. 935.

Carrelages céramiques décoratifs.

(Saône-et-Loire) fabrique aussi des carreaux pouvant produire, par leurs combinaisons, des dessins variés. Elle en fabrique à dessins incrustés. Ceux de 0m,03 d'épaisseur pèsent 64 kilogr. le mètre carré ; ceux de 0m,02 pèsent 44 kilogr.

La maison H. Boulenger (à Choisy-le-Roi) fabrique des carreaux en bordures, impression pour *revêtements* et des pièces en grès cérame en relief et en couleurs. Des panneaux ornés de couleur reviennent de 6 à 30 francs le mètre carré; les carreaux carrés ont 0m,20, 0m,15 ou 0m,10 de côté ; on emploie les plus simples pour murs de cuisines, salles de bains, water-closets, etc. Les carreaux émaillés, avec piqûres en relief, s'em-

[1] La maison Defrance fabrique aussi des pavés, caniveaux, mitres, lanternes, boisseaux et tuyaux en grès cérame. Les boisseaux de 0m,13 × 0m,16 de dimensions intérieures et 0m,33 de haut pèsent 8 kilogr. et valent 0 fr. 50. Ceux de 0m,30 × 0m 33 pèsent 22 kilogr. et valent 0 fr. 95.

ploient pour ornementation intérieure et extérieure, frises, entourages de cheminées, etc. On fait aussi des carreaux translucides.

Dallage en marbrerie. — On fait des carreaux en marbre et liais (pierre dure), carrés et octogonaux, combinés avec carreaux plus petits en marbre noir ou bleu turquin. Les carreaux en marbre blanc veiné et bleu turquin ont $0^m,325$ en tous sens ou $0^m,298$, $0^m,271$, $0^m,244$, $0^m,217$, $0^m,189$, $0^m,162$ ou $0^m,135$ de diamètre. Les petits carreaux noirs de Dinant, pour être combinés avec ceux à 8 pans, ont $0^m,124$, $0^m,113$, $0^m,101$ ou $0^m,086$.

Pour les antichambres, salles à manger, salles de bain, il est d'usage d'établir au pourtour des *bordures* en marbre blanc ou en liais.

Briques. — Les briques doivent être à arêtes bien vives et non *gauchies*, afin que les joints aient peu d'épaisseur. On peut les poser à plat en contrariant les joints transversaux ou en diagonale ou en échiquier. On les pose aussi sur champ pour avoir plus de solidité.

Le pavage en briques, très répandu aux États-Unis depuis 1885, s'y fait à l'aide de briques de $0^m,21 \times 0^m,10 \times 0^m,06$ et de $0^m,23 \times 0^m,10 \times 0^m,075$.

On se sert de briques vitrifiées. La vitrification commence entre 800° et 980°; une surchauffe d'environ 250° la rend complète et donne une brique très dure (sous la condition d'un refroidissement lent), à cassure compacte, n'absorbant que 3 à 6 0/0 d'eau et beaucoup moins fragile que si on l'avait chauffée davantage. La résistance à l'écrasement varie de 300 à 2.000 kilogr. par centimètre carré.

Les briques doivent être placées sur une bonne fondation ou plate-forme et posées de champ, avec leur longueur perpendiculaire à la direction de la voie. Le sol, bien dressé et tassé sous un rouleau de 6 tonnes, est couvert d'une couche de sable de $0^m,05$, puis d'une couche de béton de $0^m,10$ à $0^m,21$, recouverte d'une seconde couche de sable de $0^m,25$, sur laquelle on pose les briques, en remplissant les interstices avec du goudron, ou mieux avec du ciment ou du sable. Avant ce remplissage, les briques sont damées avec un pilon de 30 kilogr. ou par un rouleau de 5 tonnes, et on les maintient pendant un mois recouvertes d'une couche de sable de 12 millimètres.

En 1895, les prix payés pour divers pavages à Saint-Louis montrent l'économie du pavage en briques :

				Le mètre carré	
Briques sur béton de 150 milimètres			.....	6 fr.	75
Asphalte sur béton	—	—	.....	13	50
Grès sur béton	—	—	.....	11	25
Grès sur sable	—	—	.....	10	90

Le prix des briques de première qualité doit être compté à 50 francs le mille.

Les frais d'entretien annuels sont évalués, à Saint-Louis, le mètre carré :

Pour le pavage en briques.....	0 fr. 06 à 0 fr. 30
— granit.....	0 06
— bois et l'asphalte.....	0 30
— macadam.....	0 40 à 0 60

Le pavage en briques est très propre, facile à laver et relativement silencieux. Les chevaux y gravissent facilement des rampes de 10 0/0. Quant à sa durée, elle est estimée supérieure à celle d'un bon pavage en grès.

Pavage en liège. — On a essayé, à Vienne et à Londres, en 1896, des pavés formés de liège granulé, mêlé à de l'asphalte ou à quelque autre matière agglutinante. Ce pavage, propre, durable, élastique, ne serait jamais glissant et resterait inodore. L'usure ne serait que de 3 millimètres en deux ans.

Asphaltes et bitumes. — L'asphalte de Seyssel entre pour 25 0/0 dans la composition du bitume de Judée.

Les bons bitumes pour dallage, tuyaux, sont mélangés de calcaire en poudre, de sables et graviers.

L'asphalte (composé de carbone, 80 0/0 d'eau, d'oxygène, d'azote) est un minerai bitumineux, à gangue calcaire, brun foncé, qui se ramollit à la chaleur, est ininflammable, insoluble dans l'eau et imperméable dans l'alcool. On le vend en morceaux pesant 25 kilogr. environ, en poudre ou en mastic (84 1/2 de calcaire pour 15 1/2 de bitume) additionné de 2 1/2 à 4 1/2 0/0 de bitume ductile.

Le mastic bitumineux est livré sous forme de pains de $0^m,50 \times 0^m,33 \times 0^m,11$; pur ou mélangé de sable, il sert pour trottoirs, dallages, couvertures, sols de terrasse, chapes de ponts, couronnements de murs de soubassement, enduits hydrofuges qui empêchent l'humidité de monter. Avant de s'en servir pour trottoirs, on refond ces pains avec 4 0/0 de bitume et 30 0/0 de gravier environ.

L'asphalte porté à 100° tombe en poussière ; cette poussière d'asphalte encore chaude, comprimée fortement, reprend une grande consistance sous la forme qu'on lui a donnée ; c'est là le principe des chaussées en asphalte comprimé, composées d'une couche d'asphalte en poudre de $0^m,06$ à $0^m,07$, pilonnée sur place (et réduit ainsi à $0^m,04$ ou $0^m,05$) et reposant sur une couche de $0^m,10$ à $0^m,20$ de béton de cailloux et chaux hydraulique ou de béton de ciment.

L'asphalte en roche vaut 7 francs le quintal et 8 francs en poudre.

Les dallages en bitume pour trottoirs de $0^m,015$ d'épaisseur, se paient 3 fr. 50 le mètre superficiel.

On trouve le bitume à la Fontaine-de-Poix (près Clermont-Ferrand), à Chamalière et Gerjat, à Pont-du-Château et surtout à Pyrimont-Seyssel (Ain).

Le minerai de bitume de Bastennes (Landes), molasse sableuse et argileuse, renferme 1,31 de pétrole, 2,11 d'eau, 7,89 de bitume, 88,16 de gangue. Ce bitume vaut 40 francs le quintal ; avec lui, on fait le mastic Machabée, qui en renferme 19 0/0.

Outre les trottoirs, l'asphalte s'emploie au dallage des gares, écuries, terrasses, caves, etc.

Le *prix* des chaussées asphaltées (avec fondation de béton de ciment Portland de $0^m,15$ d'épaisseur et couche d'asphalte de $0^m,05$) varie de 14 francs à 19 fr. 50 le mètre ; sans béton, le mètre carré vaut 14 francs.

Les chaussées en bitume et asphalte durent 10 ans ; dès la 4e année, il faut 1/10 d'entretien annuel.

Ces chaussées sont hygiéniques, insonores, propres, mais glissantes par les pluies ; il faut souvent y répandre du sable. L'asphalte est employé pour fondations de maisons humides, de machines, marteaux-pilons, etc.

Application de l'asphalte brut comprimé à la confection des chaussées. — La roche asphaltique, cassée à la grosseur des cailloux qui servent à l'empierrement des chaussées macadamisées, est décrépitée dans de grandes caisses de tôle soutenues par des pieds en fer sous lesquelles est placé un fourneau ; on transporte ces appareils sur le lieu du travail. La forme de la chaussée a été recouverte d'une couche de béton dont l'épaisseur est de $0^m,15$ à $0^m,20$ selon la solidité du sol. Sur ce béton bien damé, nettoyé et réglé suivant la pente exigée, qui doit être très faible, on répand la matière décrépitée que l'on pilonne et dont on fait une couche de $0^m,04$ à $0^m,05$. On régularise la compression en promenant sur la surface un rouleau de 2.500 à 3.000 kilogr. ; deux heures après, la chaussée peut être livrée aux voitures. Son usure est de 1 millimètre par an.

Pour employer le mastic d'asphalte, dans une chaudière en tôle, à la partie inférieure de laquelle est un foyer, on met une certaine quantité de bitume destiné à aider à la fusion du mastic et à remplacer les huiles perdues par l'évaporation ; pour les chaudières ordinaires, contenant la valeur de 9 mètres carrés de dallage, la quantité de bitume est de 12 à 15 kilogr.

Le bitume fondu, on jette dedans les pains de mastic brisés en 8 ou 10 morceaux ; puis on chauffe. Lorsque la liquéfaction est complète, on verse le gravier fin, lavé et séché, et on brasse le mélange jusqu'à ce qu'il soit bien liquide et que tous les grains de gravier soient imprégnés ; alors on procède à la

coulée. Un manœuvre verse avec un pochon, sur la couche de béton préparée à l'avance, la matière qu'un autre ouvrier, l'*applicateur*, étend avec une spatule, lisse d'une manière uniforme et saupoudre de gros sable, qu'il bat, tout en unissant la surface, avec une planchette carrée armée d'un manche; ce sable rend la couche bitumineuse plus propre à bien résister à l'action destructive des pieds. Pour les grandes surfaces, la coulée se fait par bandes de $0^m,60$ à $0^m,90$ de largeur, et de $0^m,01$ à $0^m,02$, ordinairement $0^m,015$ d'épaisseur; des règles en bois qu'on place sur l'aire fixent la largeur et l'épaisseur des bandes. La surface que l'on couvre à chaque reprise est de 1 mètre environ.

La quantité de menu gravier qu'on mélange au mastic d'asphalte est variable selon l'épaisseur de la couche, la circulation probable et la température maxima de la localité. Outre que ce gravier agit comme matière inerte chargée de diminuer la quantité de mastic employée, il est un élément indispensable destiné à atténuer l'action de la chaleur ambiante et des rayons du soleil; plus le mastic renferme de gravier, moins le dallage est fusible.

Pour les trottoirs de Paris, le mastic se compose, par mètre carré de dallage, de :

Mastic d'asphalte de Seyssel.....	23,0 kilogr.
Gravier.....	15,0 —
Bitume libre pour aider à la fusion.....	1,5 —

Un trottoir en asphalte se compose, en général, d'une couche de béton de $0^m,05$ à $0^m,10$ et d'une couche de mastic de $0^m,015$ à $0^m,020$. Pour le construire, on commence par s'assurer que le terrain est ferme et sans chance de tassement. Après avoir damé fortement le sol, on coule le béton, qui doit être fabriqué avec de la chaux parfaitement éteinte. Lorsque le béton, réglé et pilonné, est parfaitement sec, on procède à la coulée du mastic (Voir ci-après : *Pavage d'asphalte comprimé*).

Emploi du mastic d'asphalte. — On emploie les mastics bitumineux pour daller les trottoirs, places, etc., faire les joints des pavés dans les lieux humides, construire des chapes pour empêcher l'eau de s'infiltrer à travers les voûtes en maçonnerie et couvrir les terrasses des bâtiments et le dessus des maçonneries en pierre de taille auxquelles on veut assurer une grande durée; au fort de Charenton, tout le dessus des tablettes et des corniches a été recouvert d'une couche de ce mastic. Le bitume est employé à la construction des réservoirs, des citernes et des carrelages en briques de buanderies, où il coule continuellement de l'eau; à poser les carreaux ordinaires en terre cuite dans tous les lieux humides et à recouvrir le sol intérieur des grands édifices; dans une partie des casernes des forts de Paris, les planchers, qui sont formés par des voûtes en maçonnerie surmontées de $0^m,10$ de

béton, sont entièrement recouverts d'une aire en bitume faisant office de carrelage. On fait usage du bitume pour assainir les lieux humides, soit en posant le parquet ou le carrelage avec cette matière, soit en recouvrant les murs d'un enduit qui en est fabriqué ; enfin on hourde avec du bitume des maçonneries de briques ou de moellons qui ont besoin d'un certain degré d'élasticité, comme des appuis exposés à des mouvements de vibration ou de dilatation.

Les aires en bitume réussissent mieux sur plans horizontaux que sur plans inclinés, surtout quand elles sont exposées au soleil ; il arrive souvent, si la pente dépasse 7 à 8 0/0, que le bitume, d'une consistance convenable en temps humide, fond et descend vers le bas du plan incliné. Lorsque le bitume est mauvais, il entre difficilement en fusion ; il devient dur l'hiver, perd une partie de son élasticité, et casse lorsqu'on marche sur les aires qui en sont formées.

On a fait dans plusieurs villes, à Lyon surtout, des chaussées en mastic d'asphalte. Ces chaussées se composent d'une couche de $0^m,05$ de mastic mélangé de 2/5 de gravier, superposée à une forme de $0^m,10$ de béton. On emploie plutôt ce système pour les traversées de rues, les dallages de cours ou de portes cochères, et, dans ce cas, on strie la surface pour empêcher le glissement des chevaux.

Lave fusible. — On désigne ainsi un mastic bitumineux, préparé avec des bitumes artificiels épurés.

La Compagnie de la Lave fusible a utilisé les goudrons de gaz en les évaporant et distillant. On améliore les bitumes artificiels en y introduisant du caoutchouc ou de la gutta-percha en dissolution dans de l'huile bitumineuse.

Pour former la lave fusible, le brai, convenablement épuré, est mélangé à trois fois son poids de matière terreuse, notamment de la craie de Meudon desséchée. Le mastic obtenu résiste bien à la chaleur et à la gelée.

La lave fusible est employée pour dallages de trottoirs, terrasses, vestibules, pour l'assainissement des caves et autres lieux humides, à la construction des réservoirs, des citernes, des bassins destinés à recevoir l'eau ou les acides.

Pavés d'asphalte comprimé. — La Société des Mines de bitume et d'asphalte du Centre fabrique des pavés en asphalte comprimé, qui se posent sur béton ; ces pavés, de $0^m,025$ à $0^m,05$ d'épaisseur, pèsent de 50 à 100 kilogrammes le mètre carré et valent de 2 fr. 90 à 4 fr. 75 le mètre carré ; on en fait d'unis et de chanfreinés, ainsi que des carreaux.

MM. Heude et Levesque ont expérimenté ce système, dû à M. Léon Malo, à Orléans, en 1893. Les pavés de la Société des Mines de bitume et d'asphalte sont composés de poudre chauffée

à 120° et comprimés à la presse hydraulique à la pression de 600 kilogr. par centimètre carré.

Le pavage a été posé sur une fondation de béton de ciment de $0^m,14$ d'épaisseur, au dosage de 250 kilogr. de ciment de Portland pour 1 mètre cube de cailloux et un demi-mètre cube de sable.

Les pavés d'asphalte ont $0^m,20$ de long sur $0^m,10$ de large et $0^m,05$ d'épaisseur. Ils ont été posés sur une couche de mortier frais de ciment de $0^m,015$ d'épaisseur au dosage de 450 kilogr. de ciment de Portland pour 1 mètre cube de sable. Ils sont posés à plat, de sorte que le pavage n'a que $0^m,05$ d'épaisseur. Ils sont placés en contact sous un même rang, et les rangs successifs sont également juxtaposés sans joint.

Les interstices inévitables sont ensuite garnis avec de la poudre de ciment répandue sur le pavage et balayée à la surface pour la faire pénétrer dans les interstices où le ciment fait prise sous l'action de l'humidité du mortier de pose. Ce pavage s'est bien comporté.

Ce dallage revient à 12 francs le mètre carré pour une épaisseur de $0^m,04$.

Le **carrelage mosaïque en ciment Portland** comprimé, avec dessins variés, revient à 11 francs au moins le mètre superficiel, tout posé.

Pavage en pierre et grès. — Un pavage, pour être solide, doit être établi sur un sol résistant. Sur des terres rapportées il faut d'abord pilonner.

Le terrain doit être en *pente* pour l'écoulement des eaux; il faut combiner les pentes qui amènent les eaux dans les ruisseaux destinés à les rejeter au loin. La pente longitudinale des chaussées varie de $0^m,005$ à $0^m,05$ par mètre [1].

Les pavés en pierre se font en grès durs des vallées de l'Yvette, de la Juine et de l'Essonne, d'Épernon, en granit des Vosges, en quartzite de l'ouest, en arkose d'Autun, en porphyre de Quénast (Belgique), etc.

Le porphyre de Quénast et le granit des Vosges sont excellents. Le porphyre est glissant, ce qui en restreint l'usage aux caniveaux bordant les chaussées empierrées.

Un bon pavage en pierre peut durer 20 ans sans être refait et est économique pour les voies parcourues par de lourdes voitures.

Le *pavé de ville* de Fontainebleau de $0^m,22$ en tous sens, pour voies publiques, se pose à sec sur une forme ou couche de sable

[1] La pente la plus avantageuse est celle de $0^m,01$ à $0^m,02$. Dans le service de Paris, on donne une pente en travers de $0^m,04$, soit un bombement de 1/50 de la largeur de la chaussée. On ménage cette pente vers l'axe et on la force à 1 mètre de la bordure pour produire les caniveaux.

de plaine de $0^m,10$ à $0^m,30$[1]; il est ensuite battu et dressé avec la *demoiselle*. On remplit les joints de sable.

Les *pavés refendus* servent au pavage des cours et voies peu fatiguées; les pavés refendus en 2 et 3 se posent avec chaux et ciment. On donne $0^m,014$ de pente par mètre au pavage de cours pour laisser écouler les eaux.

Le *pavé d'échantillon*, le plus petit, sert pour offices, cuisines, lavoirs, buanderies, etc., on l'emploie aussi à chaux et ciment. On dresse la forme avec de la terre franche.

Le pavé de porphyre est trop glissant; ceux d'arkose (grès dur) s'emploient pour voies très fréquentées et de faible pente.

Voici : 1° le prix du millier de pavés smillés, approvisionnés dans les dépôts; 2° le prix moyen du mètre carré de relève à bout, déduction faite des rabais d'adjudication.

Pavés en grès de l'Yvette

0,23 × 0,23 × 0,23	0,16 × 0,23 × 0,23	0,14 × 0,20 × 0,16
1.000 fr. le mille	700 fr. le mille	460 fr. le mille
20 fr. 50 le mètre carré	20 fr. 50 le mètre carré	17 fr. 65 le mètre carré

0,12 × 0,18 × 0,16	0,10 × 0,16 × 0,16
370 fr. le mille	290 fr. le mille
18 fr. 55 le mètre carré	19 fr. 25 le mètre carré

Grès durs de l'Ouest et Porphyre de Belgique

0,14 × 0,20 × 0,16	0,12 × 0,18 × 0,16	0,10 × 0,16 × 0,16
530 et 550 fr. le mille	440 et 425 fr. le mille	350 et 330 fr. le mille
20 à 21 fr. 50 le m. carré	21 à 21 fr. 50 le m. carré	22 fr. 50 et 21 fr. 80 le m^2

Arkoses de Saône-et-Loire et Granit des Vosges

0,14 × 0,20 × 0,16	0,12 × 0,18 × 0,16	0,10 × 0,16 × 0,16
480 fr. le mille	390 fr. le mille	340 fr. le mille
18 fr. 10 le mètre carré	19 fr. 20 le mètre carré	21 fr. 65 le mètre carré

Le prix de la main-d'œuvre et des menues fournitures du pavage en grès, à Paris, se décompose ainsi par mètre carré :

Sable : $0^{m3},25$ à $0^{m3},30$, à 4 fr. 50 le mètre.....	1 fr. 20
Pavage (échantillons 8/14, 10/16 et 13/13 exceptés)...	0 60
Transport des pavés.....	0 65
TOTAL.....	2 fr. 45

[1] Pour les voies parcourues par des tramways et dans celles à grande circulation, la fondation de pavage en pierre se fait sur un lit de béton, de ciment de 15 centimètres.

Plus-value pour les échantillons 8/14, 10/16, 13/13....	0 fr.	15
Plus-value pour pavages en mortier hydraulique { sur bain de 0m,03 avec joints.	0	15
Plus-value pour pavages en mortier hydraulique { avec joints seulement.....	0	40
Une heure de compagnon paveur ou dresseur, compris tous frais d'outils, se paye, au règlement.....	0	91
Une heure de manœuvre, garçon paveur, rouleur, etc.	0	63
Une heure de terrassier, piocheur ou pelleteur.....	0	69
Une heure de tailleur ou piqueur de grès.....	1	03

Les **laves** et les **granits** sont employés au pavage des rues et des cours dans certains pays. Le pavage en granit dure 15, 20 et même 50 ans avec de petites réparations.

La pose du dallage en granit revient à 2 francs ou 2 fr. 50 le mètre carré.

Le **granolitique**, produit artificiel, agglomérat de granit d'Écosse concassé et de ciment de Portland, pèse 2.240 kilogr. le mètre cube. On en fait de beaux dallages et des trottoirs. Le mélange a la consistance et la résistance de la pierre dure, tout en coûtant moitié moins et en donnant une grande facilité de pose et d'emploi. La résistance à la traction est de 84kg,666 par centimètre carré et à l'écrasement de 666 kilogrammes par centimètre carré.

On en rend l'usage plus sûr au point de vue du glissement et plus agréable, en lui donnant, lorsqu'on le pose par coulage, des rayures, un quadrillage ou un pointillé.

Cette matière peut aussi se poser en plaques préparées à l'avance. Dans tous les cas on la fait reposer sur une assise de 0m,075 d'épaisseur en pierrailles, scories ou briques concassées, sur lesquelles on étend une couche de béton ordinaire. On en fait aussi, par moulage, des marches d'escaliers, des faîtages de murs et des fondations de machines.

On le coule sur place en plaques de couleur grise de 0m,08 à 0m,10 d'épaisseur; le mètre carré, pose comprise, revient à 8 francs et 10 francs. On le coule sur fondement de briques ou pierres cassées de 0m,075. On fait encore des pierres en granolithique.

Empierrement. — Les matériaux employés pour l'empierrement des voies publiques sont, par ordre de résistance, le porphyre de Voutré, la meulière compacte, le caillou ou silex pyromaque.

L'empierrement des chaussées, ou *macadam*, est coûteux, produit la transformation des chaussées, pendant les grandes pluies, en véritables lacs de boue et occasionne beaucoup de poussière en temps sec. Aussi, depuis 1861, Paris a-t-il vu transformer ses principales voies empierrées en chaussées mixtes comprenant une zone centrale d'empierrement et des revers pavés de chaque côté, et actuellement la tendance est à la substitution à ces systèmes du pavage en bois.

Les chaussées empierrées peuvent se constituer par une couche de cailloux de $0^m,15$ (déposés sur une forme préparée), recouverte d'une autre couche de même épaisseur de meulière, quartz, porphyre, silex, etc.; on répand ensuite du sable destiné à faire gangue, on arrose, puis l'on fait passer le rouleau compresseur jusqu'à prise complète. Le prix d'établissement est de 4 fr. 50 à 6 francs par mètre carré.

L'usure annuelle des voies empierrées varie de 25 à 55 mètres cubes par kilomètre et 100 colliers. Pour Paris, le volume des matériaux employés par an, pour l'entretien de 1 mètre carré, est de $0^{m3},079$ coûtant 1 fr. 49, auxquels il faut ajouter 0 fr. 49 de main-d'œuvre.

Le *mâchefer*, employé aussi, coûte 6 fr. 50 le mètre cube.

Pavage en bois. — Le pavage en bois est appliqué à Londres depuis longtemps et à Paris depuis 1880.

On peut appliquer ce système de la manière suivante : On fait, sur un sol bien dressé, une fondation de 15 à 23 centimètres d'un béton composé de 1 partie de ciment Portland et de 7 d'un mélange comprenant 1/3 de sable pour 2/3 de cailloux. On dame la fondation à la pelle, on lisse la surface, puis on la règle à la cerce au moyen d'un enduit de mortier fin de ciment Portland. Le bombement est de 1/60 de la largeur de la chaussée.

Trois ou quatre jours après, on pose debout des pavés en bois résineux (prismes de sapin rouge de Suède, etc.), de $0^m,075$ ou $0^m,08$ de large, $0^m,21$ ou $0^m,22$ de long, et $0^m,11$ à $0^m,15$ de haut. On trempe ces pavés pendant 20 minutes dans une composition chaude de coaltar, de créosote et de craie argileuse, pour les empêcher de pourrir.

Les pavés sont posés en rangées perpendiculaires à l'axe de la chaussée et très rectilignes; l'écartement des joints transversaux est assuré par des réglettes de 1 centimètre, posées au fond des joints.

Les joints sont ensuite remplis: 1° sur les 2 ou 3 centimètres de fond, au moyen d'un mélange de brai et de créosote coulé à chaud ; 2° sur le surplus de la hauteur au moyen d'un coulis de mortier de sable fin et de ciment Portland. Souvent même on garnit toute la hauteur de joint en mortier de ciment liquide.

Les rangées transversales sont encadrées entre 2 ou 3 rangs longitudinaux ; entre la dernière rangée longitudinale et la bordure des trottoirs, on laisse un espace libre de 3 à 4 centimètres, que l'on remplit de glaise plastique ou de sable pour faciliter la dilatation.

Le tout est recouvert de fin gravier. Au bout de 2 ou 3 jours, on livre à la circulation. On doit renouveler le sablage plusieurs fois par an.

A Paris, le pavage en bois est effectué avec le sapin du Nord,

ou pin sylvestre, avec le pin des Landes, ou pin maritime, et avec le pitchpin.

On obtient ainsi un pavage précis, régulier et reposant sur une couche indéformable de béton résistant à la manière d'une voûte, soulagée en tous ses points par la résistance du sol. La plus grande dimension ($0^m,21$) des pavés en bois est placée dans le sens transversal de la chaussée, et la plus petite ($0^m,08$) parallèlement à son axe. En plan, les pavés en bois d'une même file transversale sont placés jointifs et les joints de cette file sont croisés avec ceux des deux files voisines.

Le pavage en bois offre une chaussée douce, insonore, propre en toute saison, mais glissante. Sa durée varie de 7 à 15 ans.

Pavé en grès, le mètre carré	10 fr.	50
— — établi sur béton	15	»
Pavage en bois sur béton	18	30

Ce dernier prix se décompose ainsi :

Lit de béton	4 fr.	50
Achat de pavés en bois	12	»
Pose	1	80

En y ajoutant les frais de démolition des anciens revêtements, le prix total du pavage en bois ressort à 23 francs environ le mètre cube. L'entretien varie de 2 francs à 2 fr. 95.

	Le mètre	
Entretien des chaussées macadamisées	5 fr.	»
— — de pavage en bois	2	50
— — de pavage en grès	1	25
— — en asphalte comprimé	1	25

Trottoirs. — Pente des trottoirs en travers : $0^m,04$ par mètre. Pente en long, la même que celle de l'axe en chaussée. La bordure fait une saillie de $0^m,08$ à $0^m,17$ sur le caniveau.

Le projet de trottoir étant adopté par l'Administration, on pose la bordure sur un massif de maçonnerie de moellons de roche avec mortier hydraulique en sable de rivière. Sur ce massif, de $0^m,30$ de large et $0^m,30$ de haut, on étend une couche ou bain de mortier hydraulique, sur lequel on pose la bordure que l'on enfonce au moyen d'un pilon en bois.

La bordure posée, on prépare la forme du trottoir, par un déblai ou un remblai. On pose les gargouilles en fonte, de $0^m,14$ de large, sur un massif de maçonnerie de $0^m,15$ d'épaisseur sur $0^m,28$ de large. Ensuite on étend sur la forme une couche de $0^m,10$ de béton composé de 2 parties de mortier hydraulique et

3 de cailloux ou meulière concassée à 0m,05. On laisse sécher, puis l'on recouvre d'une couche de mortier de 0m,02, sur laquelle

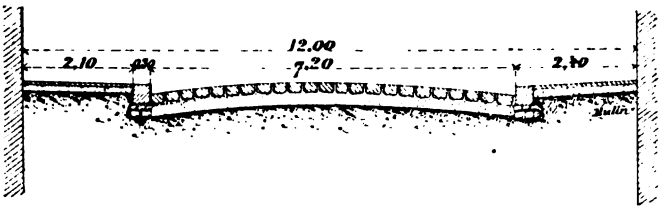


Fig. 936. — Voie normale avec ses deux trottoirs.

on pose les dalles en granit de 0m,08 à 0m,10 d'épaisseur ou une couche de bitume de 0m,015. Le trottoir doit se raccorder, par

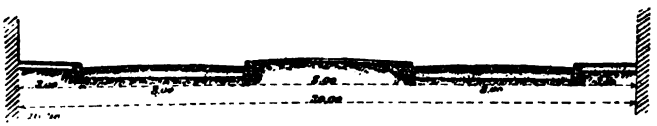


Fig. 937. — Avenue ou boulevard ayant 2 trottoirs, 2 chaussées et une contre-allée centrale.

sa surface, avec la face supérieure de la bordure. Le bitume encore chaud est sablé et battu avec une batte.

Fig. 938. — Chaussée mixte. Empierrement entre deux larges bandes de passage en pierre.

Les *entrées des portes cochères* sont ordinairement faites de pavés de 0m,16 × 0m,16 × 0m,15, disposés en échiquier et posés sur une forme de sable de 0m,10 à 0m,12.

Dans la huitaine qui suit l'établissement d'un trottoir, on rejointoie les bordures et les dalles, opération qui consiste à gratter les joints, puis à les remplir de ciment hydraulique.

Prix d'établissement d'un trottoir avec bordure droite de 0m,30 sur 0m,30 avec une longueur de 10m,00 et une largeur de 4m,00

EN GRANIT, TOUT POSÉ

10 mètres de bordure posée à 17 fr. 20	172 fr. »
Dallage : 10m,00×3,70 = 37 mètres carrés à 23 fr. 50.	869 50
Montant du devis	1041 fr. 50
A déduire la prime 1/3 de la Ville	347 17
Reste à payer	694 fr. 33

EN BITUME, TOUT POSÉ

10 mètres de bordure posée à 17 fr. 20	172 fr. »
Dallage 10m,00 × 3,70 = 37 mètres carrés à 5 fr. 50.	203 50
Montant du devis	375 fr. 50
A déduire la prime 1 6 de la Ville	62 58
Reste à payer	312 fr. 92

Les bordures circulaires sont payées 25 fr. 60 le mètre linéaire, et le pavage pour portes cochères 12 francs le mètre carré.

L'entretien du dallage en bitume se paye à forfait 0 fr. 30 par mètre cube et par an.

La figure 939 représente une *bordure à refouillement et à encorbellement*. La face antérieure est tantôt évidée, tantôt refouillée sur 0m,12 à 0m,15, de façon à former, dans la pierre même, un caniveau pour l'écoulement des eaux.

On cache ainsi les eaux sales à la vue, mais le nettoyage est difficile.

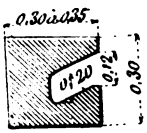


Fig. 939.

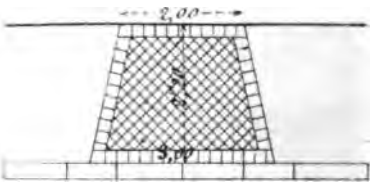


Fig. 940.

Entrées charretières[1]. — La plupart des revêtements employés sur les trottoirs étant insuffisamment résistants pour les

[1] Voir Georges LEFEBVRE, *Voie publique*, 1896.

voitures qui doivent pénétrer dans les propriétés, on a souvent pratiqué des coupures dans le trottoir, afin de former, à l'entrée des propriétés, de véritables petites chaussées. Mais les piétons sont gênés par ces marches à descendre et à monter à tout moment, et l'on préfère augmenter l'épaisseur des revêtements en employant les passages d'entrées charretières.

La figure 940 montre un pavage en échiquier d'une de ces entrées en pierre.

Pour faciliter l'accès des voitures, on abaisse le profil en long de la bordure, de façon que la partie basse, ou *tablier*, soit située seulement de 0m,06 à 0m,17 au-dessous du pavé. Le profil normal est rejoint de chaque côté du tablier par une bordure ou rampant de 1 mètre à 1m,50 de longueur.

Couverture. — *Poids des diverses couvertures* (voir p. 913).

Pente ordinaire des toitures : 1/3 de la largeur de l'édifice.

Dans toute couverture il faut poser, de distance en distance et sur plusieurs rangs, des crochets en fer forgé (peints de la couleur du toit) ; ils servent en cas d'incendie et facilitent la marche sur les toits.

Tuiles. — Les couvertures en tuiles durent environ 25 ans. On

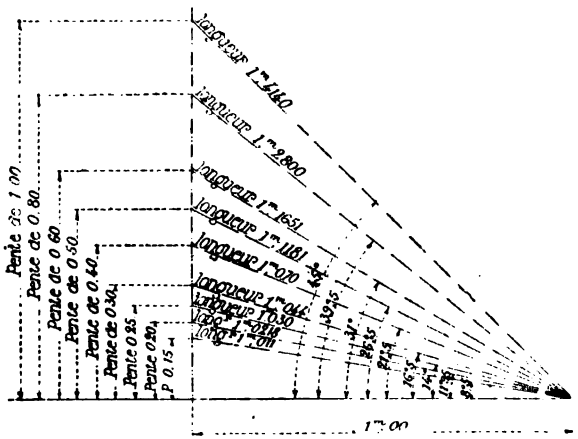


Fig. 941. — Pentes usuelles des toitures avec valeurs correspondantes en degrés.

fait usage de *tuiles plates* de Bourgogne (*fig.* 942) (en terre argileuse); celles du grand moule ont 0m,31 sur 0m,23 et 0m,0157 à 0m,019 d'épaisseur (poids de l'une, 1kg,95 à 2kg,4 ; pureau, 0m,11);

il en faut 42 par mètre carré de toiture ; celles du petit moule ont $0^m,257$ sur $0^m,183$ et $0^m,014$ d'épaisseur ; il en faut 64 par mètre carré de toiture (poids de l'une, $1^{kg},32$; pureau, $0^m,08$).

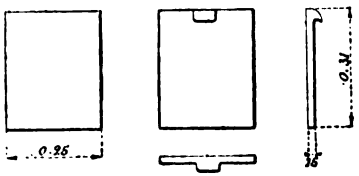


Fig. 942. — Tuile plate de Bourgogne.

Les tuiles plates portent, par derrière, un tasseau qui sert à les accrocher et quelquefois des trous pour les fixer. Les tuiles ordinaires faîtières creuses ont $0^m,378$ de long, $0^m,32$ de contour et $0^m,24$ de diamètre ; elles ne se recouvrent pas.

On pose les tuiles sur des lattes en chêne refendu, de $1^m,30$ de long et de $0^m,0067$ à $0^m,0033$ d'épaisseur, espacées tant vide que plein si elles ont $0^m,04$ à $0^m,06$ de large. On fixe les lattes par rang de niveau et en liaison, espacées de $0^m,33$, avec des clous de $0^m,027$ de long, et de 620 à 640 au kilogr. chacune sur 4 chevrons. Les tuiles se posent par rangs horizontaux en commençant par le bas du toit. Les tuiles d'un rang couvrent aux 2/3

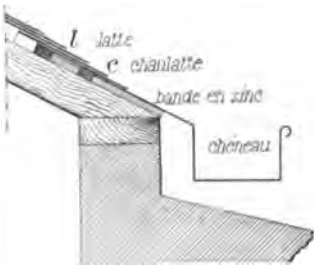


Fig. 943. — Égout (rang inférieur des tuiles) et chéneau relié à la toiture par une bande de zinc.

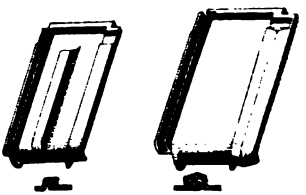
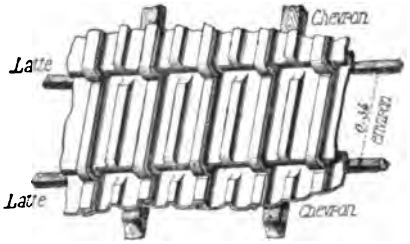


Fig. 944. — Tuiles mécaniques Muller.

celles du rang inférieur ; la partie découverte est le *pureau*. Le rang inférieur se pose sur mortier et fait saillie de $0^m,10$ sur la corniche ; sur ce 1er rang, on en pose un 2e à joints croisés, qu'on nomme *doublis*. Quand il y a une corniche avec chaîneau, on pose un rang simple de tuiles s'appuyant sur le chaîneau. Quand il n'y a pas de corniche, on la remplace par une chanlatte (rang de planches taillées au couteau et plus épaisses d'un bord que l'autre, que l'on cloue sur les extrémités inférieures des chevrons, qui doivent avancer de $0^m,50$ au-delà du parement extérieur du mur de face) ; sur la chanlatte on pose un double



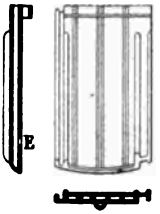


Fig. 946.

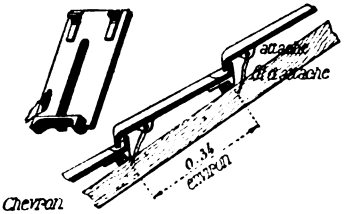


Fig. 945. — Pan de toiture couvert en tuiles Muller.

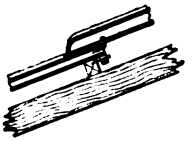


Fig. 947.

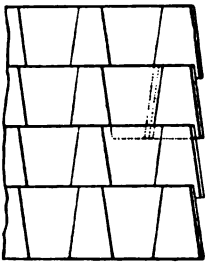


Fig. 948. — Tuiles plates renversées (en usage en Italie).

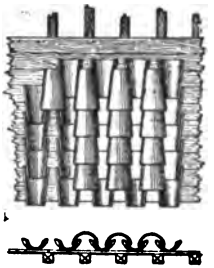


Fig. 949. — Tuiles creuses employées dans le sud de la France.

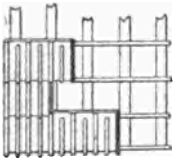


Fig. 950. — Tuiles à emboîtement.

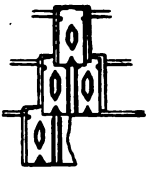


Fig. 951. — Tuiles à emboîtement.

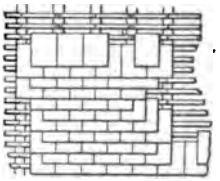


Fig. 952. — Tuiles plates rectangulaires montrant le pureau.

UNIVERSITY

rang de tuiles, comme sur la corniche. Les tuiles plates conviennent pour les inclinaisons de 27 à 60°.

Les *tuiles creuses ou à canal*, employées dans le sud de la France, sont des demi-cylindres légèrement coniques, qui ressemblent aux faîtières ; elles ont de $0^m,35$ à $0^m,55$ de long, $0^m,013$ d'épaisseur, $0^m,20$ de diamètre à un bout et $0^m,15$ à l'autre. Pour les établir, il faut que la pente soit de 18° à 26° ; sur des chevrons distants de $0^m,30$, on établit un plancher en voliges jointives ou en tuiles minces, et, sur ce plancher, on pose les tuiles creuses ; celles de dessous servent d'égout et sont nommées *chanées*, et celles de dessus *chapeaux*. Pour la pose de 1.000 tuiles creuses, il faut 1 mètre cube de plâtre.

Les rangs verticaux des tuiles, présentant leur concavité, sont espacés de $0^m,04$, et les tuiles se recouvrent en longueur de $0^m,05$ à $0^m,06$. Les intervalles compris entre ces premiers rangs se recouvrent par d'autres rangs présentant leur convexité.

Les *tuiles-pannes* ou *flamandes* s'agrafent latéralement et se posent sur deux grosses lattes bien dressées ; ces tuiles ont $0^m,35$ de côté sur $0^m,016$ d'épaisseur ; il en faut 15 1/4 par mètre carré de toit. Certains modèles ont $0^m,26 \times 0^m,39$ et $0^m,21 \times 0^m,31$ (poids, $1^{kg},5$).

Il y a des tuiles flamandes à la fois concaves et convexes et qui ont presque complètement une forme de ∞ couché (pour pentes de 30 à 40°) ; elles se posent à recouvrement, c'est-à-dire que la partie concave de l'une s'emboîte dans la partie convexe de l'autre ; elles forment à la fois chapeaux et chanées ; on les mastique sur leurs joints.

Les *tuiles romaines modernes* (*fig.* 960 et 961) s'agrafent mutuellement sur 2 arêtes, et se posent de manière qu'une de leurs diagonales soit horizontale, et l'autre dirigée suivant la pente du toit ; elles pèsent 45 kilogr. le mètre. Il y a les *tegulæ*, tuiles plates, rectangulaires et pourvues, dans le sens de la longueur, de 2 rebords ou crochets, et les *imbrices*, tuiles demi-cylindriques. Les tuiles plates reposent à côté les unes des autres, et leurs joints sont couverts de tuiles creuses qui, à chaque rangée, se terminent par un antéfixe.

Les tuiles à *emboîtement* diminuent le poids de la couverture, facilitent la pose et forment des dessins variés. Les tuiles *Gilardoni* sont rectangulaires et pourvues, en leur milieu, d'une nervure en forme de losange ; elles se recouvrent par emboîtements latéraux et horizontaux ; leur assemblage a lieu par chevauchement et est dit à *joint vertical discontinu ;* 2 crochets au revers les fixent au lattis. Un 2e type de tuile *Gilardoni* est à nervure médiane en forme de listel et à joint *vertical continu*. Un 3e type est à double recouvrement et sans nervure médiane.

La tuile *Muller* (Ivry-sur-Seine) en est une modification (*fig.* 944).

Les tuiles *losangiques* s'assemblent par joints obliques. La tuile *Courtois*, de forme carrée, est pourvue d'un crochet et se pose une pointe en bas, l'une des diagonales du carré étant horizontale, et l'autre étant dirigée suivant la ligne de plus grande pente. La tuile *Josson* est une losangique irrégulière.

La tuile de la Société des Tuiles isolantes, à Ivry-Port (*fig.* 946 et 947), est formée de deux parois minces, espacées de $0^m,02$ et réunies par des cloisons longitudinales. A l'extrémité inférieure du pureau, les deux parois se soudent, de sorte que les cavités intérieures sont closes d'un bout et ouvertes de l'autre. Légèreté (40 kilogr. par mètre), conductibilité et imperméabilité, très faibles ; résistance, relativement considérable. Se pose sur lattis et s'accroche à l'aide d'un tenon percé d'un trou au travers duquel on chasse un clou. Pour le cas où la toiture est exposée à de grands vents, une petite entaille E (*fig.* 947) est pratiquée sur la partie extérieure des tuiles et permet de relier celles-ci au moyen d'un crochet métallique.

Tuiles de Bourgogne (prix d'octroi compris)

	Les 1.040
Grand moule, plate de $0^m,015$ d'épaisseur.....	114 fr. »
Petit moule.....	65 »
A emboîtement Perrusson, etc.....	185 »
Tuiles en grès émaillées, diverses couleurs.....	250 »

Prix du mètre superficiel

	Neuve	Remaniée
Tuile plate de Bourgogne, grand moule :		
Tuile sur lattis neuf ou vieux.	5 f. 90 à 5 f. 35	1 f. 65 à 1 f. 00
— plâtre.....	6 25	2 00
— plate de Bourgogne, petit moule :		
— lattis neuf ou vieux.	6 05 à 5 20	2 10 à 1 25
— plâtre.....	6 50	2 55
Tuiles à recouvrement Muller (190 francs le mille).....	4 05	
Tuiles grand moule sur lattis neuf.....	5 »	
Tuiles petit moule.....		
Tuiles à emboîtement, neuve, d'Altkirch, de Choisy-le-Roi, de Courbevoie (Seine-et-Marne), d'Ecuisses (de Perrusson), de Génelard, de la Ferté-Saint-Aubin (Loiret), des Laumes, de Montceau-les-Mines, de Montbard, de Montchanin, de Navilly (Saône-et-Loire).	3 85	0 90

Fig. 953. — Tuiles plates en écaille.

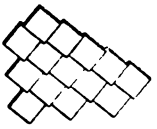


Fig. 954. — Tuiles carrées plates.

Fig. 955. — Arêtiers Muller.

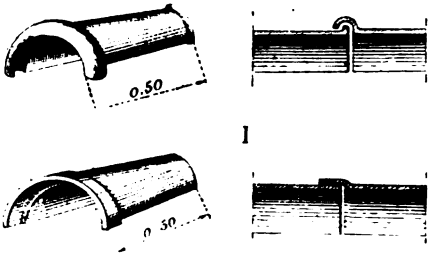


Fig. 956 à 959. — Tuiles faitières.

Fig. 960.— Ensemble sur le toit.

Fig. 961. — Profil du toit.

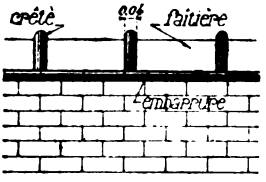


Fig. 962.

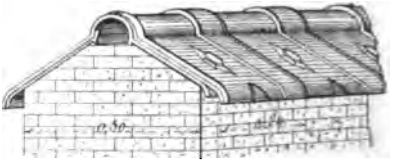


Fig. 963. — *Mur couvert* avec des tuiles chaperons d'un côté et des tuiles faitières de l'autre. Prix du mètre courant 2 fr. 23; le mètre, petit moule, 1 fr. 80.

Tuiles faîtières

	Le cent
Ordinaires	60 fr. »
A bourrelets de 0m,33	70 »
Rondes à recouvrement de 0m,50	1 »

Une tuile faîtière ou arêtière couvre-joint de 0,42 × 0,16 × 0,013 à 0,020 pèse de 2kg,3 à 1kg,6.

Il y a aussi des *tuiles à onglet* de 0,m370 sur 0m,225 (poids de l'une : 2kg,75) ; il en faut 16 par mètre carré.

La tuile *losangée* à emboîtement qui pèse 3kg,3 à 3kg,5 (13 par mètre carré se latte de 0,357 à 0,36 d'écartement ; il faut 3 mètres carrés de lattes par mètre carré de toiture (les lattes en sapin ou peuplier ont 27 × 27 millimètres ou 30 × 30 millimètres de section). Le prix de 1,000 tuiles, à Montchanin, est de 130 francs. On fabrique des *demi-tuiles* pour compléter les rangs sur les rives du pignon.

Les tuiles romaines de Montchanin (*fig.* 960 et 961) ont : les plates, 0,26 × 0,32 (poids, 3kg,4) ; les rondes (couvre-joints), 0,30 × 0,13 (poids, 2 kilogr.) ; elles valent, à l'usine, 130 francs le mille.

Tuiles romaines

Les tuiles *écaillées* de la même forme que les ardoises ayant 0m,15 × 0m,17 et celles plates, dites *carrées* de même dimension (poids, 1 kilogr.), de Montchanin, valent 60 francs le mille à l'usine ; il en faut 56 à 60 par mètre carré, avec 8 à 10 mètres de lattes de 30 × 15 millimètres ou de 27 × 27 millimètres ; le recouvrement est d'environ 0m,15.

On fait aussi des tuiles dont on recouvre la teinte rouge naturelle d'une teinte terne d'ardoise.

Les *embarrures* sont des joints au mortier ou au plâtre faits de chaque côté des tuiles faîtières pour les sceller.

On fait encore des tuiles percées pour passage de tuyaux, des tuiles à douille, des *chatières* en terre cuite se reliant avec les tuiles, des lucarnes entièrement en terre cuite qui se montent sur charpente, des *tuiles-chaperons* pour couvertures de murs, des *faîtières* (*fig.* 962), des *arêtiers* qui peuvent être très décoratifs (ornés de fleurons, etc.).

Ardoises. — Assez tendre au sortir de la carrière, l'ardoise acquiert à l'air la dureté et la fissibilité. La meilleure est fossile et se trouve à une grande profondeur ; celle des premiers lits, rousse et pâle, se laisse pénétrer par l'eau et se délite par la gelée. L'ardoise pyriteuse s'effleure et s'exfolie. La bonne ardoise est extraite par blocs de 3 mètres de haut ; elle se fend au maillet et au ciseau, puis se façonne et se taille à la hache (doleau). On trouve des bancs convexes, dont on tire les ardoises coffines qui servent à couvrir les combles courbes (dômes).

Une bonne ardoise doit être homogène, dure, d'un grain fin et serré, d'une couleur foncée et unie ; elle doit être légère, tendre, quelque peu élastique, ne pas absorber l'eau, être parfaitement plane, d'une épaisseur uniforme, se laisser tailler et percer sans se briser, avoir la *sonorité métallique*.

Ardoises d'Angers (*dimensions et prix*)

		LONGUEUR ou HAUTEUR	LARGEUR	ÉPAISSEURS	PUREAU ou PARTIE VISIBLE sur le toit	NOMBRE d'ardoises PAR MÈTRE CARRÉ de toit	POIDS de 1.000 ARDOISES	NOMBRE DE MÈTRE CARRÉ couvert par 1.000 ardoises	PRIX des 1.000 ARDOISES (octroi compris)
MODÈLES FRANÇAIS		m.	m.	m.	m.		kilog.	m.	francs
1re carrée grand modèle		0,324	0,222	0,0025 à 0,0035	de 0,11	42	520 à 600	23,80	61 »
1re carrée 1/2 forte		0,297	0,216	0,0025 à 0,0030	0,10	47	410	21,27	54 »
1re carrée forte [1]		0,297	0,216	0,0027 à 0,0010	0,10	47	540	21,27	58 »
4e carrée cartelette n° 1 forte		0,216	0,162	0,0025 à 0,0035	0,07	88	260 à 390	11,36	30 »
Ardoises découpées		0,300	0,170	0,0025 à 0,0035	0,10	60	300	16,66	70 »
MODÈLES ANGLAIS	N° 1	0,640	0,360	0,0045 à 0,0060	0,280	9,92	3.100 à 3.800	100,20	311 20
	N° 2	0,608	0,360	— —	0,265	10,48	2.900	95,41	321 55
	N° 3	0,608	0,304	— —	0,265	12,40	2.450	80,64	266 65
	N° 4	0,558	0,279	— —	0,240	11,92	2.020	67,02	219 60
	N° 5	0,508	0,254	0,0035 à 0,0005	0,215	18,31	1.160 à 2.400	54,61	170 60
	N° 6	0,458	0,254	— —	0,190	20,70	1.330	48,30	41 20
	N° 7	0,406	0,203	— —	0,165	29,85	860	33,50	98 05
	N° 8	0,355	0,203	— —	0,140	35,21	710	28,40	78 45
	N° 9	0,355	0,177	— —	0,140	40,32	630	24,80	70 60
	N° 10	0,305	0,165	— —	0,115	52,63	470	19,00	53 90
	N° 11	0,360	0,254	— —	0,140	28,12	960	35,56	107 »
	N° 12	0,304	0,203	— —	0,115	42,82	620	23,34	71 »

[1] La grande carrée fine (mêmes dimensions) n'a que 0m,752 à 1m,692 d'épaisseur ; le mille pèse 195 à 245 kilogr. Il y a aussi des cartelettes minces ou fines (0m,21 × 0m,16 × 0mm,752 à 1m,692), qui pèsent de 146 à 195 kilogr. le mille.

Autres dimensions d'ardoises

NOMS DES ARDOISES (Les angles de la partie supérieure sont enlevés)	LONGUEUR ou HAUTEUR	LARGEUR	ÉPAISSEUR EN MILLIMÈTRES	POIDS de 1.000 ardoises	PUREAUX	NOMBRE D'ARDOISES par mètre carré de toit	NOMBRE DE MÈT. CARRÉS couverts par 1.000 ardoises
Modèles français	m.	m.		kg.	m.		
2e carrée forte (Angers)	0,297	0,196	2 1/2 à 3 1/2	410	de 0,10	52	19,23
Grande moyenne forte (Angers)	0,297	0,180	2 1/2 à 3 1/2	380	0,10	55	18,18
Petite moyenne forte (Angers)	0,297	0,162	2 1/2 à 3 1/2	330	0,10	62	16,12
Moyenne (Angers)	0,270	0,180	2 1/2 à 3 1/2	355	0,09	61	16,40
Flamande n° 1	0,270	0,162	2 1/2 à 3 1/2	320	0,09	69	14,19
Flamande n° 2	0,270	0,150	2 1/2 à 3 1/2	300	0,09	74	13,50
3e carrée n° 1 (Grande cartelette)	0,243	0,180	2 1/2 à 3 1/2	310	0,08	72	13,88
3e carrée n° 2	0,243	0,150	2 1/2 à 3 1/2	265	0,08	82	12,20
4e carrée, cartelette n° 2	0,216	0,122	2 1/2 à 4	200	0,07	111	8,77
4e carrée, cartelette n° 3	0,216	0,195	2 1/2 à 4	150	0,07	146	6,84
4e carrée (petit modèle de Charleville)	0,216	0,162	2 1/2 à 3	250 à 284	0,07	»	»
Moyen modèle de Charleville (Ardennes), Saint-Louis	0,270	0,190	3	485	0,08	56	»
Angers — Poil taché	0,297	0,168	2 1/2 à 4	400	0,09	70	14,30
Angers — Poil roux n° 1	0,270	0,141	2 1/2 à 4	300	0,09	89	12,50
Angers — Poil roux n° 2	0,216	0,108	2 1/2 à 4	»	»	»	»
Angers — Héridelle	0,280	0,108	2 1/2 à 4	480	variable	»	»
Angers — Grande écaille	0,297	0,198	2,8 à 4	500	0,10	50	20,00
Angers — Petite écaille	0,230	0,132	2,7 à 3 1/2	240	0,08	94	10,63
Petit Saint-Louis (Charleville)	0,260	0,160	»	»	0,08	74	»
Ardoises de Fumay (noir roux)	0,240	0,160	2,82	293 à 343	0,061	74	»
	0,240	0,160	1,692	171 à 195			

Citons encore les ardoises de Rimogne, de Saint-Louis-sur-Meuse (Deville), de Sainte-Barbe (Fumay), du Moulin-Sainte-Anne (Fumay), de Renazé, de Chattennoue, de Port-Launay, de Saint-Julien-de-Maurienne (Savoie), etc.

Essais : 1° Faire tremper dans l'eau pendant une journée, à 1 centimètre de son bord, une ardoise ; si, par l'effet de la capillarité, l'eau ne s'élève pas à plus de 1 centimètre au-dessus de la ligne de trempe, l'ardoise est bonne ;

2° Peser l'ardoise, la plonger dans l'eau pendant une heure, la retirer et la peser de nouveau ; plus le poids de l'eau absorbée est considérable, plus l'ardoise est mauvaise ;

3° Border l'ardoise de cire et remplir d'eau cette petite auge. Si, après plusieurs jours, l'eau n'a pas pénétré l'ardoise, sa densité est suffisante ; dans le cas contraire, la rejeter.

La *résistance des ardoises* d'Angers à la rupture par traction est de $7^{kg},046$ par millimètre carré, coefficient supérieur à celui des meilleurs bois de chêne. La résistance à l'écrasement varie de 877 à 1.285 kilogr. par centimètre carré, chiffres comparables à ceux des meilleurs granits.

	Prix, octrois compris	
Voliges à ardoises		
En peuplier, les 100 voliges	23 fr.	»
En sapin, chanfreinées pour ardoises dites anglaises	20	»
Tringles sapin, pour couvertures en ardoises, avec pinces.	10	»
Lattes, les 104 bottes, pour couvertures en tuiles		
Cœur de chêne, fortes	225	»
Ordinaires	125	»
Liteaux pour tuiles à recouvrements, les 100 mètres	7	»
Clous à ardoises		
En cuivre, le kilogr	4	50
En fer, —	1	50
Pinces, crochets métalliques, pour toitures en ardoises, tuiles, verres, etc., en fer galvanisé, le kilogr	1	50
Pinces, crochets métalliques, pour toitures en ardoises, tuiles, vernis, etc., en cuivre rosette, le kilogr	4	50

Le mètre carré d'ardoises ordinaires pèse 25 à 26 kilogr.

Le mètre superficiel d'ardoises ordinaires, 1re carrée, demi-forte 2e mod. de 0,297 × 0,216 (pureau, 0,11), revient, cloué sur volige ou plâtre, à 4 ou 5 francs. Les ardoises remaniées sur volige ou sur plâtre, reviennent de 1 fr. 73 à 2 fr. 82 le mètre superficiel. Les ardoises neuves non clouées, posées au crochet en cuivre apparent, reviennent à 8 francs le mètre superficiel.

Nos figures montrent le voligeage et les ardoises posées, qui se recouvrent mutuellement des 2/3 de leur dimension ; le tiers qui reste apparent se nomme *pureau*[1]. On taille les ardoises en

[1] Pour les combles à la Mansard, dont la pente dans la partie inférieure a plus de 60°, les ardoises peuvent avoir des pureaux des 3/4 de leur hauteur, tandis que, pour la partie supérieure des mêmes combles (pente, 30°), les pureaux pourront être réduits à 1/4. Sur des combles à 45°, les pureaux partageront les ardoises en 2 parties égales.

Dans les combles à la Mansard il faut former, au droit du brisis, un

losange, et on les pose (*fig.* 964 à 966) en quinconce, en écailles ordinaires, en écailles allemandes, etc.

La gelée, les pluies, le vent détériorent les ardoises qui, toutefois, bien entretenues, peuvent durer cinquante ans. Le grand recouvrement des ardoises est dû à ce que la capillarité tend à faire monter l'eau entre les ardoises. La pente des toits varie entre 33° et 45° ; avec une pente moindre, les voliges sont sujettes à se mouiller, se pourrissent; les clous n'y adhérant plus, le vent peut enlever la couverture.

Les ardoises s'attachent comme les tuiles sur des planches en

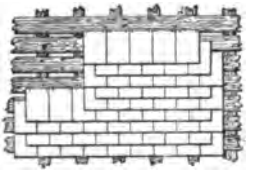


Fig. 964.

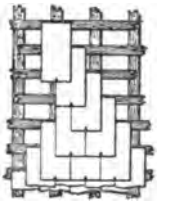


Fig. 965.

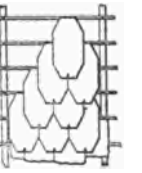


Fig. 956.

sapin ou peuplier de $0^m,011$ d'épaisseur (jointives ou non, et disposées, autant que possible, de manière que leurs faces supérieures soient dans un même plan) avec 2 ou 3 clous en fer galvanisé ou en cuivre, car ceux en fer se rouillent.

On commence à poser les ardoises par l'égout (bord inférieur de la couverture) que l'on forme en superposant sur la chanlatte 2 ou 3 rangs d'ardoises. Les ardoises formant l'égout se posent sur plâtre, et font saillie de $0^m,04$ à $0^m,05$ sur la chanlatte. Quand on a de bonnes tuiles, on en fait l'égout, que l'on met en saillie de $0^m,10$ sur la chanlatte[1]. A partir de l'égout, les ardoises se placent par rangs horizontaux.

Pour percer, clouer les ardoises et les tailler, on se sert d'un marteau portant une pointe d'un côté, une tête étroite dirigée suivant la direction du manche de l'autre, et dont le manche est un tranchant en acier. Les clous employés sont de 570 au kilogr.

Dans les *noues* et sur les *arêtiers* on fait usage de feuilles de

égout de 5 à 8 centimètres de saillie, pour recevoir le dernier rang d'ardoises; on y place souvent une bavette en zinc ou en plomb.

[1] L'égout simple se fait en posant le 1er rang d'ardoises de façon qu'elles recouvrent le bord du chéneau pour verser les eaux dedans. S'il y a une corniche sans chéneau, on forme un égout retroussé ; on pose un 1er rang de tuiles au plâtre ou au mortier sur le bord de la corniche qui avance au-delà de la cimaise de $0^m,10$; le 1er rang doit avoir un peu de pente en dehors ; on le double en posant un *doublis* ou 2e rang en liaison, qui n'avance pas plus que le 1er.

métal, qui pénètrent sous les ardoises voisines dans le premier cas, et qui sont placées dessus dans le second [1].

Pour calculer le prix d'une couverture, on évalue sa surface et l'on ajoute 1/5 en sus pour les sujétions d'égouts, de faîtes, etc.

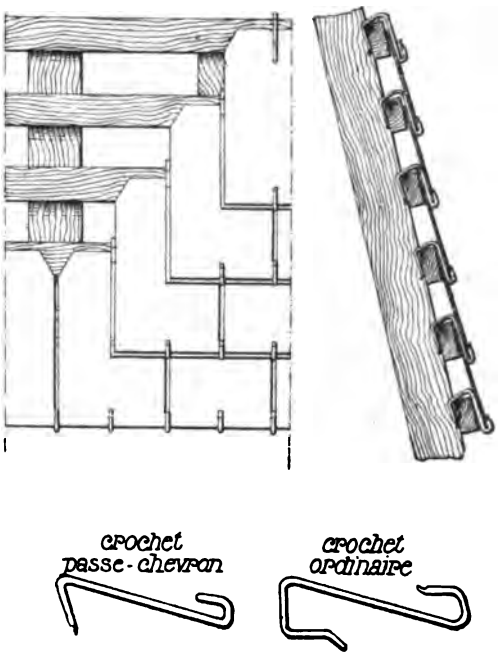


Fig. 967. — Ardoises fixées avec crochets Fourgeau.

Pour *agrafer* les ardoises, on adopte l'un des systèmes (*fig.* 967 et 968). Le crochet Fourgeau est employé pour les charpentes métalliques, et l'agrafe sur la cornière formant latte. Le crochet

[1] Les faîtages (angles saillants des toits), noues (angles rentrants), chéneaux-arêtiers et dessus de lucarnes sont souvent formés en plomb ; on y substitue aussi des tuiles creuses cylindriques (*tuiles faîtières*, *fig.* 962) qui se posent au plâtre ou au mortier, par la réunion des deux pentes. Ces tuiles ne s'emboîtent pas et se joignent au plâtre.

On termine les toits à une seule pente et les pignons par des filets en plâtre, en mortier ou en ciment, qu'on nomme *solins* lorsqu'ils sont isolés, et *ruelles* lorsqu'ils sont le long des murs. Pour former les arêtiers et les noues, on coupe diagonalement les ardoises ; on peut poser par le bas une petite bavette en plomb (*oreille-de-chat*) ayant plus de saillie que l'ardoise.

Hugla sert pour charpentes en bois. L'extrémité de la lame en métal, légèrement coudée, est percée d'un trou qui permet son clouage sur le lattis; l'extrémité inférieure agrafe l'ardoise. Les crochets portent, dans le bas, une petite bande ou traverse faisant corps avec eux. Cette traverse sert à engager ses deux bras sous

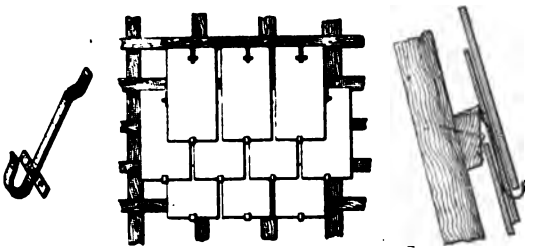


Fig. 968.

les pureaux inférieurs de droite et de gauche, ce qui donne de la rigidité à l'ensemble et ôte toute prise au vent.

Les **bardeaux**, ou *échandoles*, sont des tuiles en chêne, châtai-

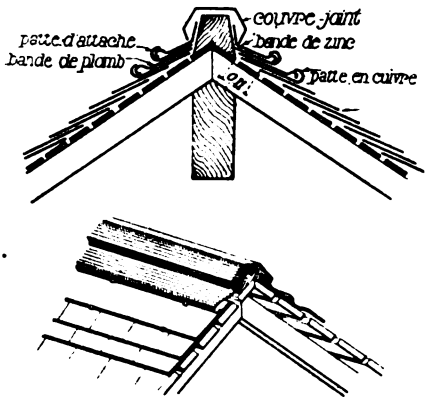


Fig. 969. — Faîtage en plomb d'une couverture en ardoises.

gnier ou sapin ; ils ont $0^m,0406$, $0^m,0135$ et $0^m,011$ d'épaisseur; il en faut 55 pour couvrir 1 mètre carré de toit. On les dispose comme les ardoises. L'inclinaison doit être de 45° au moins, afin que l'eau n'y séjourne pas. On fait aussi des bardeaux de $0^m,20$ à $0^m,32 \times 0^m,08 \times 0^m,003$.

Plomb (*fig.* 971 à 973). — Les tables de plomb employées à la

couverture ont 3m,90 sur 1m,95 et 0m,00338 à 0m,0045 d'épaisseur.

Le recouvrement des feuilles, dans le sens de la longueur, varie de 0m,081 à 0m,162; latéralement, les feuilles se relient

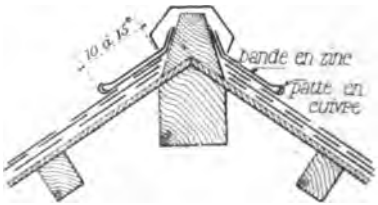


Fig. 970. — Arêtier en zinc pour couverture en ardoises.

entre elles en les repliant de manière à former un ourlet. On les pose sur voliges; on commence par placer les chéneaux qui doivent régner au bas du comble; on rabat le dossier de ces

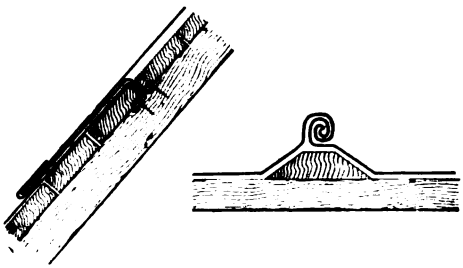


Fig. 971. — Couverture en plomb.

chéneaux sur les voliges, et dessus on fixe, par des crochets espacés de 0m,50, le bas des tables; on déroule les planches de plomb en montant et on les fixe avec de forts clous traversant jusqu'aux chevrons. Le plomb a l'inconvénient de se détruire par l'oxydation et de se fondre en cas d'incendie.

Plomb laminé en tables (10 *à* 50 *francs les* 100 *kilogr.*)

Épaisseur en millim.	1	1 1/2	2	2 1/2	3	4	5	6
Poids du m. carré..	11,35	17	22,70	28,40	34,05	45,40	56,75	68,10

Cuivre. — Les feuilles de cuivre employées ont 1m,407 sur 1m,137, et 0m,00068 ou 0m,00075 d'épaisseur; le poids du mètre

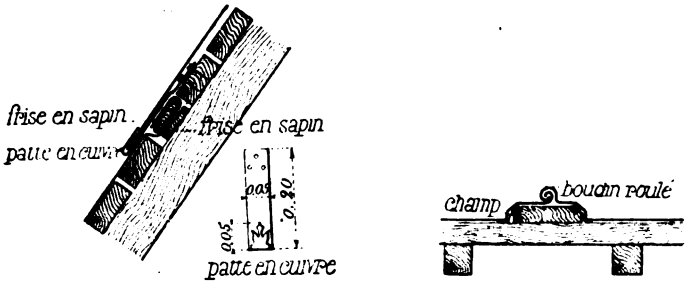


Fig. 972 et 973. — Assemblage des joints verticaux dans la couverture en plomb.

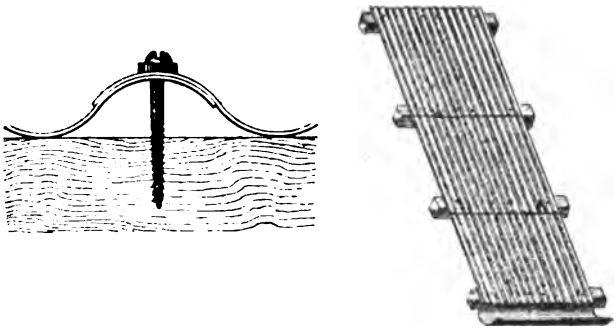


Fig. 974 et 975. — Couverture en tôle ondulée.

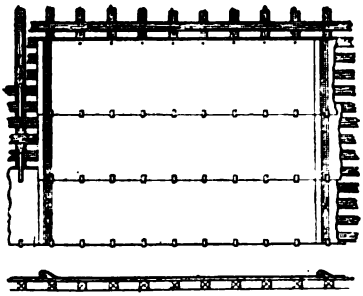


Fig. 976. — Couverture en plomb.

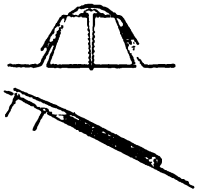


Fig. 977. — Couverture en zinc.

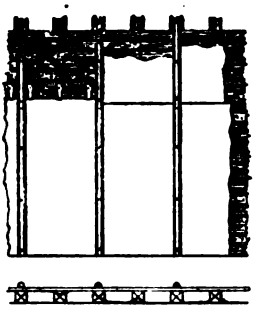


Fig. 978. — Toit en zinc.

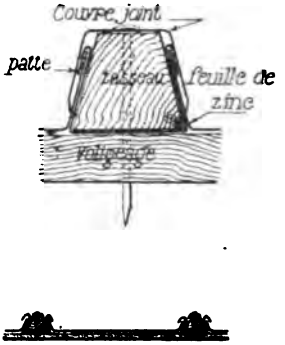


Fig. 979. — Pose des feuilles de zinc.

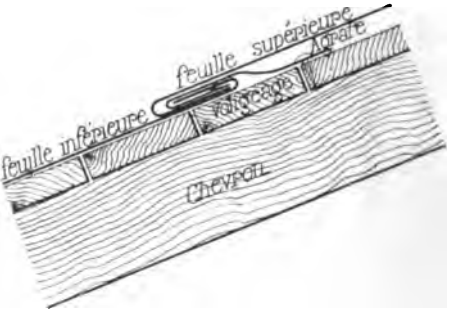


Fig. 980. — Couverture en zinc.

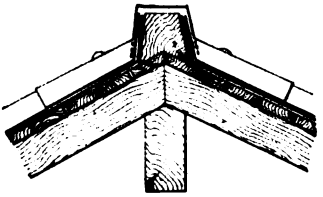


Fig. 981. — Faîtage en zinc.

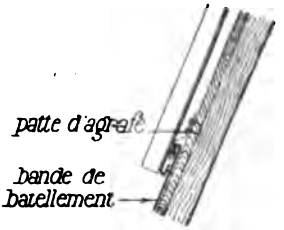


Fig. 982. — Égout en zinc.

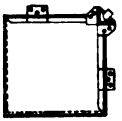


Fig. 983.

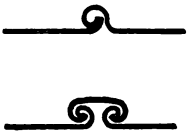


Fig. 984 et 985.

carré est de $6^{kg},11$ avec les premières feuilles et $7^{kg},64$ avec les secondes. Le poids, exprimé en livres, donne le numéro des feuilles ; ainsi les dernières feuilles, étant du n° 25, pèsent 25 livres ou $12^{kg},24$; l'épaisseur est de 4 points ou $0^m,00075$. Le recouvrement des feuilles est de $0^m,12$. Les joints se font comme pour les feuilles de zinc. Le cuivre forme la couverture la plus durable, mais elle est coûteuse, quoique moins que celle en plomb.

Tôle de fer. — En Russie et en Suède, on emploie la tôle ; les feuilles ont $0^m,70$ sur $0^m,50$ et une épaisseur de $0^m,00035$; elles pèsent $3^{kg},08$, ce qui fait $8^{kg},80$ par mètre carré. On a appliqué, en France, les ardoises en tôle ayant subi l'opération du zingage.

Avec la tôle ondulée, le poids, par mètre carré de couverture compris les fers d'angle, est de 15 à 25 kilogr. La peinture doit être renouvelée tous les quatre ou cinq ans. Les couvertures en *fer-blanc* reposent sur le voligeage, comme celles en tôle.

Les toitures en *fer galvanisé*, employées en Allemagne, comprennent des tuiles ou ardoises rectangulaires agrafées aux chevrons et se recouvrant dans les deux sens ; l'assemblage des tuiles résulte uniquement de l'emboîtement de leurs bords ; les tuiles galvanisées Bellino pèsent 7 kilogr. et demi le mètre carré ; elles ont $0^m,435$ de long.

Zinc. — Les assemblages doivent faciliter la dilatation dans tous les sens. Par le haut, les feuilles se fixent sur les voliges à l'aide de clous en zinc (le fer accélère l'oxydation). Par le bas, la feuille recouvre les clous qui fixent la feuille inférieure, à laquelle elle s'agrafe par des crochets soudés sous sa face inférieure. Les crochets peuvent être fixés par les clous de la feuille intérieure, ce qui dispense de les souder. Latéralement les feuilles s'agrafent soit par un simple ourlet (*fig.* 984), soit en redressant leurs bords qu'on applique contre un liteau en bois, et en recouvrant le tout d'un chapeau en zinc (*fig.* 979) ou encore en faisant une double agrafe recouverte d'un chapeau, sans liteau (*fig.* 985).

On fait usage d'ardoises en zinc, de $0^m,35$ à $0^m,40$ sur $0^m,003$ à $0^m,0035$ d'épaisseur, ayant la forme des tuiles-pannes (*fig.* 983) ; elles se clouent par le haut sur les voliges et s'agrafent par le bas aux ardoises inférieures à l'aide de deux crochets.

La Société de la Vieille-Montagne fabrique des losanges en zinc ($0^m,19 \times 0^m,35$; $0^m,32 \times 0^m,59$; $0^m,25 \times 0^m,46$; $0^m,40 \times 0^m,73$) et des carrés en zinc (*fig.* 983) de $0^m,28$ ou $0^m,35$ ou $0^m,45$ ou $0^m,60$ de côté pour couvertures. Les losanges s'appliquent directement sur le mur, et sont fixés par des pattes clouées dans les joints de la maçonnerie de briques ; lorsque la maçonnerie est en moellons, il faut d'abord appliquer un lattage en bois à claires-voies.

On fabrique des demi-ardoises et des demi-losanges en zinc pour faîtage, raccords, etc. La Société de la Vieille-Montagne fabrique aussi des feuilles cannelées pour couvertures.

Zinc laminé pour toitures

NUMÉROS	ÉPAISSEUR DES FEUILLES en millimètres	LARGEUR 0m,50 LONGUEUR 2 mètres	LARGEUR 0m,63 LONGUEUR 2 mètres	LARGEUR 0m,80 LONGUEUR 2 mètres	POIDS du mètre carré
		kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.
9	0,45	2,90	3,70	4,60	2,90
10	0,51	3,45	4,45	5,50	3,45
11	0,60	4,05	5,30	6,50	4,05
12	0,69	4,65	6,10	7,50	4,65
13	0,78	5,30	6,90	8,50	5,30
14	0,87	5,95	7,70	9,50	5,95
15	0,96	6,55	8,55	10,60	6,55
16	1,10	7,50	9,75	12 »	7,50
17	1,23	8,45	10,95	13,50	8,45
18	1,36	9,35	12,20	15 »	9,85
19	1,48	10,30	13,40	16,50	10,30
20	1,66	11,25	14,60	18 »	11,25
21	1,85	12,50	16,25	20 »	12,50
22	2,02	13,75	17,90	22 »	13,75
23	2,19	15 »	19,50	24 »	15 »
24	2,37	16,25	21,10	26 »	16,25
25	2,56	17,50	22,75	28 »	17,50
Surface de chaque feuille dans les diverses dimensions.		1m,000	1m,300	1m,600	»

On admet une tolérance de 25 décagrammes en moins dans le poids de chaque feuille. 1 mètre cube de zinc pèse 7.000 kilogrammes.

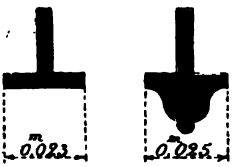


Fig. 986. — Profil de fers à vitrage.

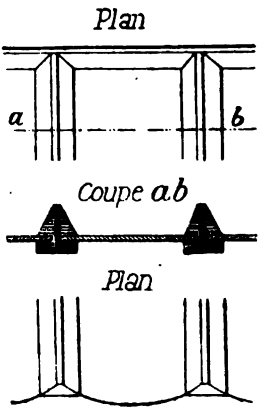


Fig. 987. — Verre s'appuyant dans les feuillures des fers à T et fixé au mastic.

Un mètre carré de couverture en zinc sur voligeage pèse 40 kilogr.; mais on en fait aussi ne pesant que 7 kilogr. La flèche du toit, dans un comble à égouts, va jusqu'à 1/24 de la profondeur. La durée des feuilles est d'environ vingt ans. Le zinc vaut de 65 à 80 francs les 100 kilogr. Pour 1 mètre superficiel de voligeage, le développement des feuilles de zinc, de $0^m,80 \times 2$ mètres est de $1^m,22$; celles de $0^m,50 \times 2$ mètres ont $1^m,30$ de développement.

Le zinc laisse pénétrer la chaleur en été et le froid en hiver, mais il ne présente aucun danger en cas d'incendie; il permet de diminuer la pente et d'employer des charpentes simples et légères.

Verre. — Les toitures en verre sont formées de plaques de $0^m,005$ à $0^m,008$ d'épaisseur, ayant $0^m,50$ à 1 mètre sur $0^m,40$ à $0^m,50$, avec recouvrement de 6 à 7 centimètres. Les plaques sont mastiquées les unes aux autres et disposées sur des fers profilés à vitrages, placés parallèlement aux chevrons et distants de $0^m,40$ à $0^m,50$.

Asphalte. — L'asphalte, en couche de 1 centimètre, repose sur un lit de terre franche de 2 centimètres ou sur un lit en carreaux cuits de 2 1/2 à 4 centimètres. 50 kilogrammes d'asphalte, mélangés avec autant de sable, couvrent 7 mètres carrés.

Carton-pierre. — Dans le cas de carton-pierre, 1 mètre cube de toiture, chevrons compris, pèse 30 kilogr. Le carton-pierre est en rouleaux que l'on fixe avec des pointes sur des baguettes à section triangulaire. On ne l'emploie que pour bâtiments peu importants ou couvertures provisoires.

Ciment *pour les terrasses* (à dilatation libre sans ressauts ni recouvrements, système Caillette). — Ce système (*fig.* 988 à 991) donne une économie de 40 0/0 sur les terrasses en plomb. Le sol des terrasses est composé de panneaux en ciment indépendants de $2^m,00 \times 2^m,00$; les joints qui les séparent sont reliés par une bande de plomb de 1 millim. 1/2 d'épaisseur et de 6 centimètres de large, avec rebords de chaque côté. Cette bande de plomb est scellée dans le hourdis des panneaux; elle suit les contours des joints et le pourtour des murs en se scellant dans ces derniers ou formant bavette, lorsque les eaux se jettent dans les chéneaux. Ces bandes sont mattées bout à bout. Des lames verticales en zinc, placées au-dessus et au-dessous de la bande de plomb, empêchent l'adhérence des panneaux en ciment. La bande de plomb et les 2 lames verticales sont maintenues par des supports en zinc, en forme de **M**. Tout le système de joint est posé sur les nus de pente, fait préalablement sur l'aire du plancher au tracé des joints. Lorsque la terrasse est étendue et que l'épaisseur des panneaux excède 8 centimètres, on peut éviter les surcharges en posant à l'avance les petits fers à **T** simple de l'aire en pente, en les calant à la demande sur les solives du plancher.

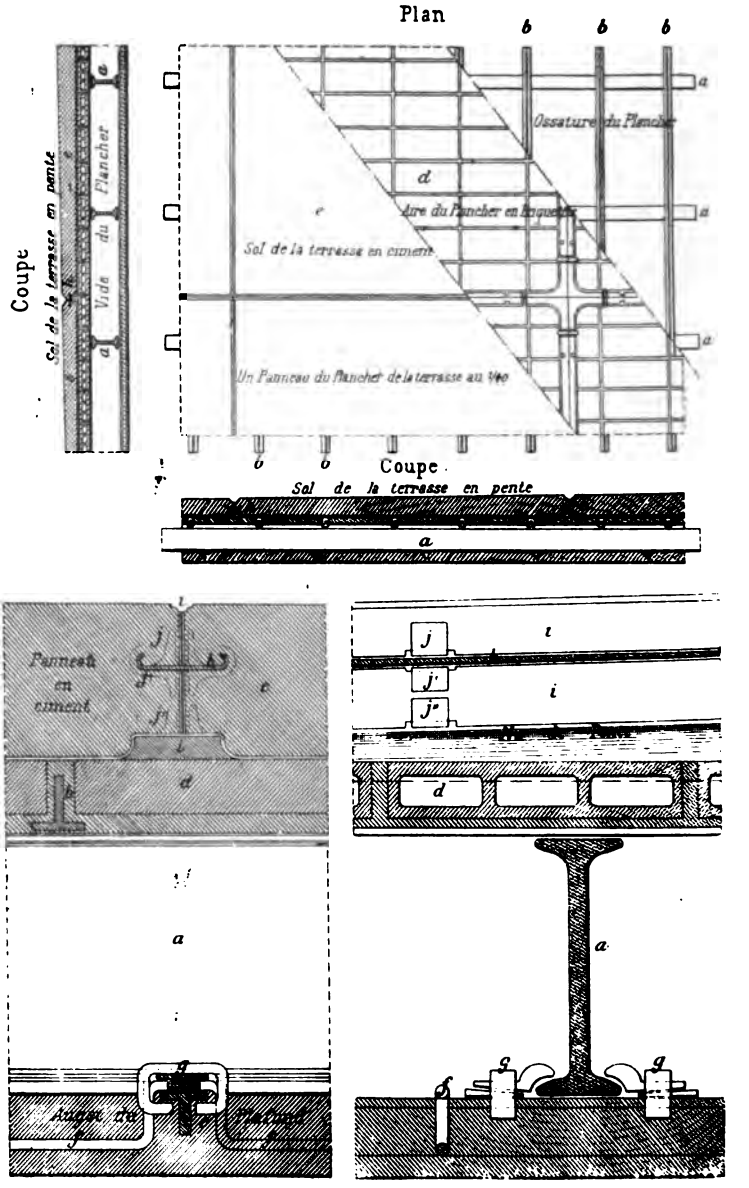


Fig. 988 à 991. — Détail du plancher de la terrasse.

a, solives du plancher. — *b*, fers à **T** simple de l'aire, 30/30 (2 kilogr. le mètre). — *c*, fers à **T** simple de l'auget, 24/25 (1kg,40 le mètre). — *d*, Briquette creuse de l'aire sur ciment (0,35 × 0.16 × 0,03 environ). — *e*, dallage en ciment de Portland à deux plombs. — *f*. entretoises de l'auget, fer rond au bois de 0m,007 de diamètre, espacés de 0m,20. — *g*, agrafes et coins de serrage reliant les **T** simple de l'auget aux solives. — *h*, joint en plomb des panneaux. — *i*, bandes de zinc empêchant la liaison des panneaux. — *j j' j''*, supports en zinc destinés à maintenir les bandes de zinc dans leur position verticale, au milieu du joint en plomb.

Le prix du mètre superficiel de terrasse en ciment, plafond compris, est de 23 francs; le poids du mètre carré est de 30kg,7.

Ciment végétal (employé en Allemagne). On dispose, sur le voligeage, un lit de 1 centimètre d'épaisseur de sable sec tamisé fin, qu'on recouvre de 4 couches de papier, d'une couche de carton-pierre et de 3 de papier. On enduit les papiers de ciment végétal liquide ou ciment de bois ou de ciment volcanique (goudron de houille spécialement préparé). Par dessus on met un nouveau lit de sable de 1 centimètre, puis une couche de cendres, de vase ou d'argile de 3 centimètres, enfin une couche de 6 à 10 centimètres de cailloux ou de bonne terre que l'on macadamise. Cette toiture pèse 90 kilogr. par mètre carré.

Avec le ciment de bois Haensler, le mètre carré, sans la volige et le gravier, coûte 2 fr. 50 à 4 francs; les frais d'entretien sont nuls. Par suite des inclinaisons pour recouvrir un même espace, il faut une surface de 142 de tuiles, contre 118 à 136 d'ardoises, 112 de carton asphalté et seulement 102 de ciment de bois.

Gouttières. — *Ordonnance de police du* 30 *novembre* 1831 (reproduite dans le titre III de l'Ordonnance du 25 juillet 1862) :

... Les propriétaires des maisons bordant la voie publique, et dont les eaux pluviales des toits y tombent directement, seront tenus de faire établir des chéneaux ou des gouttières sous l'égout de ces toits, afin d'en recevoir les eaux, qui seront conduites jusqu'au niveau du pavé de la rue au moyen de tuyaux de descente appliqués le long des murs de face avec 16 centimètres au plus de saillie.

Les gouttières ne pourront être qu'en cuivre, zinc ou tôle étamée, et soutenues par des corbeaux en fer.

Les tuyaux de descente ne pourront être établis qu'en fonte, cuivre, zinc, plomb ou tôle étamée, et retenus par des colliers en fer à scellement. Une cuiller en pierre devra être placée sous le dauphin de descente lorsque ces tuyaux n'aboutiront pas à une gargouille ou à un conduit souterrain.

Les chéneaux, gouttières, tuyaux de descente, gargouilles et cuillers seront entretenus en bon état...

Couverture en papier vulcanisé. — Les toitures-terrasses en papier vulcanisé (Ed. Prudot) sont économiques, durables, imperméables, incombustibles et élastiques. Il faut une inclinaison de 1 à 5 centimètres par mètre pour l'écoulement des eaux.

L'aire (*plancher de bois ou béton lissé*) étant établie avec ses pentes, on étend une couche de sable fin de 3 à 4 millimètres, afin d'empêcher l'adhérence entre l'aire et l'isolant.

Sur ce sable, on pose quatre épaisseurs contrariées (*fig.* 992) de papier spécial fort et large en rouleaux, lesquelles sont soudées à chaud, épaisseur par épaisseur, au moyen de goudron volcanique, matière collante, élastique, inaltérable et complètement imperméable.

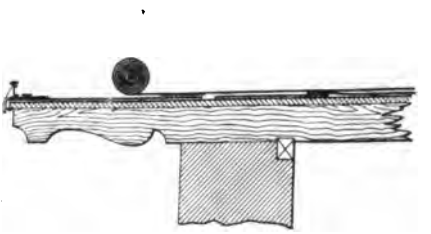


Fig. 992.

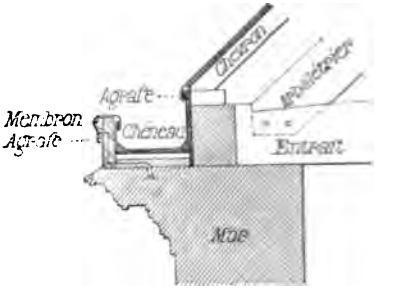


Fig. 993. — Chéneau en zinc.

Fig. 994. — Gouttière en zinc (les crochets ou supports sont placés tous les 0m,50 environ).

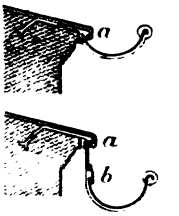


Fig. 995. — Gouttières en zinc.

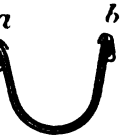


Fig. 996 et 997. — Chéneau Bigot-Renaux en fonte mince de 0m,004 à 0m,005 d'épaisseur, pouvant se dilater par bouts séparés et réduisant la pente à 0m,002 par mètre.

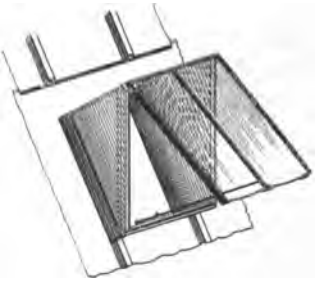


Fig. 998. — Couverture en zinc et châssis à tabatière avec coffre.

Fig. 999. — Chéneau ou gargouille en tuile (poids 10kg; prix à Monchanin, 2 fr. la pièce).

Les bandes de solins et les bordures de rives autour des murs, des souches de cheminée et des châssis doivent être préparées à l'avance, et l'on soude leur base entre la deuxième et la troisième couche de papier ; le goudron volcanique se soude avec le zinc et le protège.

Après la pose de la quatrième et dernière couche de goudron volcanique, plus épaisse que les autres, il est urgent de couvrir cette couche d'un lit de 2 centimètres de sable fin un peu terreux, de sable de plaine, de cendre de charbon, et par dessus une couche de 3 à 5 centimètres de gravier de rivière, sur lequel on peut marcher et qui sert au filtrage des eaux s'écoulant vers la gouttière.

Le mètre superficiel de couverture en papier volcanisé pèse de 4 à 5 kilogr. et, avec l'addition du matelas de 5 à 6 centimètres de sable et gravillon, le mètre superficiel pèse de 70 à 90 kilogr.

En y comprenant le poids des solives et celui des charges accidentelles, le poids du mètre superficiel varie de 110 à 130 kilogr., soit moitié des charges d'un plancher intérieur.

Chéneaux. — On leur donne $1^{mm},2$ à $1^{mm},5$ de pente par mètre courant; à chaque distance de 12 à 15 mètres, il est bon de disposer un tuyau de descente de $0^{m},07$ à $0^{m},15$ de diamètre.

Les tuyaux et gouttières en zinc pour façon entière, avec colliers ou crochets de $0^{m},08$ et $0^{m},11$ de diamètre, valent 1 fr. 60 et 1 fr. 65 le mètre linéaire.

CHAPITRE XII

CHAUFFAGE ET VENTILATION[1]

Cheminées. — Une cheminée comprend l'*âtre*, partie carrelée (*fig.* 518 et 519, p. 804), où l'on fait le feu[2]; le *contre-cœur*, formé du fond, où l'on met souvent une plaque de fonte, et des parties maçonnées en briques qui limitent l'âtre; le *foyer*, devant de la cheminée depuis l'âtre (on appelle aussi foyer la plaque de

[1] V. p. 804.

[2] Les âtres de fourneaux de cuisine sont relevés et contruits à la manière des bandes de trémie sur des tringles de fer. On les nomme *paillasse*.

Les âtres sont en brique ou en carreaux de $0^{m},025$ à $0^{m},030$ d'épaisseur ou formés d'une plaque en fonte de fer. Dans les pièces parquetées, le pavement de l'âtre doit s'étendre jusqu'à $0^{m},35$ à $0^{m},40$ en avant de la partie antérieure des jambages de la cheminée.

marbre qui est devant le foyer); le *rétrécissement*, formé de faïences ; le *manteau*, cadre en marbre enveloppant le tout, qui comprend la *tablette* portée par des solins faits sur une *planche* en plâtre consolidée par des côtes de vache; le *chambranle*, divisé en pieds-droits et en traverse horizontale (cette traverse s'appelle quelquefois manteau). Les parties J (*fig.* 519, p. 804) sont les *jambages*, languettes sur lesquelles on applique verticalement des plaques de marbre ou un simple enduit; elles portent les extrémités de la planche en plâtre. Dans l'espace compris entre le jambage et les faces en retour du co[illegible]-cœur circule le poids qui équilibre le rideau; c'est dans cet [illegible]ace que débouchent les ventouses qui amènent l'air extérieur et qui circule au-dessous des lambourdes du parquet.

Marbrerie des cheminées. — Les cheminées *capucines* (*fig.* 1000), les plus simples, de 0m,90 à 1 mètre de largeur, se font en marbre

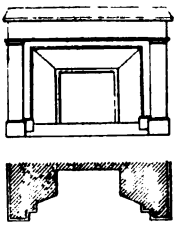


Fig. 1000. — Cheminée à la *capucine*.

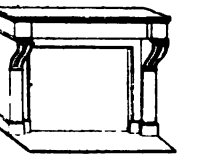


Fig. 1001. — Cheminée à *modillons*.

peu coûteux (marbre de Flandre, de Sainte-Anne, à fond gris et veines blanches); elles se font avec ou sans cadre intérieur, avec ou sans foyer. Les cheminées à *modillons* (*fig.* 1001), de 1 mètre à

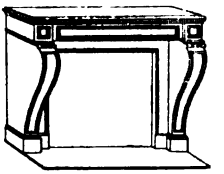


Fig. 1002. — Cheminée Pompadour.

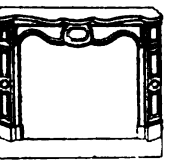


Fig. 1003. — Cheminée à consoles.

1m,15 de largeur, cannelées ou non, comprennent celles à modillons à culots, ordinaires ou à panneaux, à feuilles volutes et pointes de diamant; puis viennent les cheminées à griffes à feuilles d'eau et diamants ou à feuilles d'acanthe, les cheminées à consoles

cannelées ou à feuilles, les cheminées à consoles à feuilles et pointes de diamant, les cheminées à consoles à griffes, feuilles volutes et pointes de diamant. Les cheminées à consoles ont 1m,20 à 1m,30 de largeur horizontale.

La cheminée Pompadour style Louis XV (*fig.* 1002), pour salons, a son foyer en marbre à compartiments. Il y a aussi une grande variété de cheminées Louis XIII, Louis XIV, Louis XV; elles ont de 1m,15 à 1m,50 de largeur et plus.

Prix moyen des cheminées

Capucines sans foyer	10 à 12 fr.
— avec foyer	18 »
— avec cadre	25 »
Cheminées à modillons, cannelées	45 à 110 »
— — — en noir fin	65 »
— — — marbre blanc	95 »
— — — bleu turquin	110 à 120 »

La garniture intérieure, en faïence, avec châssis à rideaux, forte tôle ajustée, coûte à Paris 25 à 35 francs; l'intérieur en marbre blanc avec châssis à rideaux, forte tôle ajustée, vaut 40 à 55 francs.

Si la cheminée est posée avec du plâtre, il faut l'additionner de mortier au sable fin, autrement la force du plâtre ferait éclater le marbre. La face latérale des jambages se raccorde en peinture à l'huile avec le ton et le dessin du marbre; pour les cheminées de prix, ces faces latérales sont revêtues du même marbre que le reste.

La pose du chambranle, compris trous et scellements de pattes, revient de 2 fr. 50 à 3 francs sans ou avec foyer. La pose des plaques de contre-cœur revient à 2 fr. 25 la pièce jusqu'à 1 mètre.

Tuyaux de cheminées[1] (Voir *Règlement*, p. 717 à 725). — Ils sont en forme de coffre, en plâtre pigeonné, en briques ordinaires ou moulées (Voir p. 74) ou en poteries; enfin, en tôle et en

Fig. 1004. — Tuyaux de cheminées en briques.

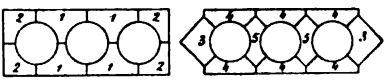


Fig. 1005. — Tuyaux de cheminées en briques Gourlier. — Assises consécutives (Voir p. 74).

fonte. Les tuyaux sont le plus souvent logés dans l'épaisseur des murs et sont constitués par des *wayons* en terre cuite ou par des *briques cintrées*.

[1] Voir p. 716.

Pour tuyaux simplement adossés aux murs, on fait usage de poteries de section cylindrique ou rectangulaire nommée *boisseaux* (*fig.* 1008) s'emboîtant les uns dans les autres. La section de ces conduits varie de $0^m,15$ à $0^m,30$; le tirage s'établit mieux avec la forme circulaire. Les boisseaux Gourlier sont cannelés à l'extérieur pour faciliter leur prise avec le plâtre ou le mortier. Les conduits en briques, quand ils sont isolés et que leur hauteur dépasse $4^m,50$, ont $0^m,22$ d'épaisseur sur deux de leurs parois et $0^m,11$ sur les deux autres.

Les *wagons*, sortes de briques creuses (*fig.* 1006 et 1007), se posent quand l'on monte les murs. Les wagons sont droits pour les parties des tuyaux qui s'élèvent verticalement, et inclinés pour celles qui sont déviées [1]. Les wagons s'emboîtent les uns dans les autres, soit quand ils sont superposés, soit quand ils sont juxtaposés. Les joints sont remplis de mortier et mieux de plâtre ; les dimensions en hauteur sont multiples de l'épaisseur des briques, de sorte que l'appareil de la maçonnerie ne soit pas déformé par la présence des *conduites engagées*. Ces conduites se font souvent en maçonnerie de briques. M. Lacôte a amélioré le système des wagons, en alternant les joints horizontaux, ce qui diminue les chances de communication entre deux conduits voisins.

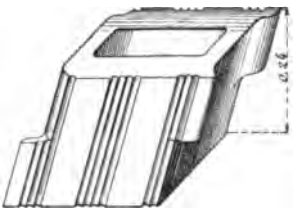


Fig. 1006. — Wagon dévoyé à joints horizontaux croisés (pour murs de $0^m,35$).

Les *tuyaux de cheminées adossés* sont en terre cuite, généralement plus longs que les wagons, et rendus adhérents à la maçonnerie par une interposition de plâtre. Leur surface est

Fig. 1007. — Wagons en terre cuite.

[1] Le *dévoiement* (inclinaison d'un tuyau) est indispensable pour faire les conduits de fumée sur le comble à la distance réglementaire du mur de face. On pratique la même opération dans les maisons à plusieurs étages où les cheminées adossées contre un mur unique se trouvent dans le même aplomb. Les *boisseaux* Gourlier et les conduits (*wagons* et *wagonnets*) de forme oblique se dévoient d'eux-mêmes par leur simple superposition (*fig.* 1006).

striée, afin que l'enduit du ravalement intérieur adhère plus solidement sur leur surface.

Il faut, dans la déviation des tuyaux, éviter les coudes brusques et répétés.

Les languettes se font généralement après la pose des parquets,

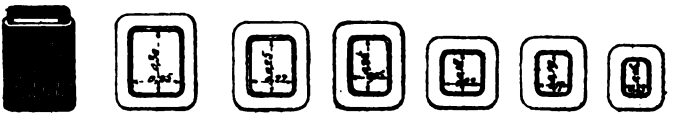


Fig. 1008. — Boisseaux Gourlier.

puis viennent la marbrerie et les rétrécissements. Les wagons en alunoxium (Richerol) sont réfractaires et résistent très fortement à l'écrasement.

Souches de cheminées. — Les plus simples sont en plâtre

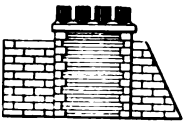


Fig. 1009.

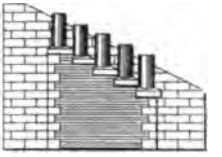


Fig. 1010.

pigeonné à la main et recouvertes d'un enduit de plâtre au panier ; on en fait aussi avec de la brique et des poteries s'em-

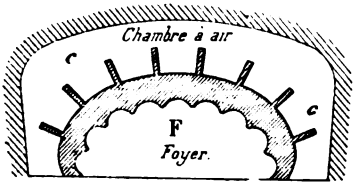


Fig. 1011.

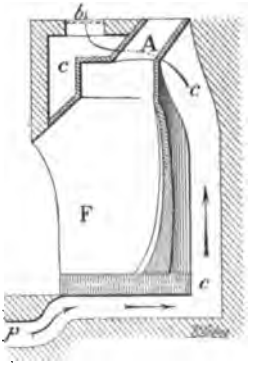


Fig. 1012.

boîtant les unes dans les autres et qu'on recouvre d'un enduit de plâtre. Les souches de cheminées sont généralement isolées

et, dans ce cas, ne doivent pas dépasser de plus de 1 mètre le haut des faîtages ; ou bien elles sont adossées contre des murs dossiers ou *dosserets*. Les souches de cheminées sont droites (*fig.* 1009), en redans d'un seul côté (*fig.* 1010) ou en redans de 2 côtés.

Les figures 1011 et 1012 représentent la cheminée système Jolly. Le foyer F est entouré d'une gaine en fonte qui le sépare d'une chambre *c* à prise d'air extérieure et pourvue de bouches *b* dans la pièce. Cette gaine en fonte est munie de nervures en saillie augmentant la surface de chauffe et empêchant le métal de rougir et de laisser exhaler des gaz délétères.

Proportions de tuyaux de cheminées et mitres de maisons particulières, suivant la capacité des locaux à chauffer et l'épaisseur des murs (*d'après le général Morin*).

1° TUYAUX GOURLIER

CAPACITÉ des LOCAUX à chauffer	DIMENSIONS INTÉRIEURES des boisseaux Gourlier	SECTION de PASSAGE de la fumée A	DIAMÈTRE INTÉRIEUR des mitrons cylindriques	SECTION de PASSAGE (mitrons) A_1	RAPPORT $\frac{A}{A_1}$
m³	m. m.	m²	m.	m²	
100 à 140	0,30 × 0,25	0,0750	0,25	0,0491	1,53
80 à 100	0,25 × 0,22	0,0550	0,22	0,0381	1,44
60 à 80	0,25 × 0,16	0,0400	0,19	0,0283	1,47
60 à 80	0,22 × 0,19	0,0418	0,19	0,0283	1,48
45 à 60	0,19 × 0,17	0,0328	0,16	0,0202	1,62
					1,50

2° TUYAUX EN WAGONS

CAPACITÉ des LOCAUX à chauffer	ÉPAISSEUR des murs	DIMENSIONS INTÉRIEURES des wagons	SECTION de PASSAGE de la fumée A	DIAMÈTRE des mitres cylindriques	SECTION de PASSAGE (mitrons) A_1	RAPPORT $\frac{A}{A_1}$
m³	m.	m. m.	m²	m.	m²	
100 à 140	0,50	0,34 × 0,21	0,0714	0,25	0,0491	1,45
80 à 100	0,45	0,28 × 0,21	0,0588	0,22	0,0381	1,54
80 à 100	0,40	0,26 × 0,21	0,0546	0,22	0,0381	1,43
80 à 100	0,34	0,27 × 0,21	0,0567	0,22	0,0381	1,49
45 à 60	0,25	0,20 × 0,18	0,0360	0,16	0,0202	1,78
						1,54

3° CONDUITS EN BRIQUES

CAPACITÉ DES PIÈCES	VOLUME D'AIR A ÉVACUER et à introduire par heure	CONDUITS DE FUMÉE				MITRES			
		SURFACE de section	SECTION rectangulaire		SECTION cylindrique. Diamètre	SURFACE de section	SECTION rectangulaire		SECTION cylindrique. Diam.
			Largeur	Longueur			Largeur	Longueur	
m³	m³	m²	m.	m.	m.	m²	m.	m.	m.
100	500	0,0926	0,25	0,37	0,20	0,0463	0,14	0,33	0,19
120	600	0,1110	0,30	0,37	0,30	0,0555	0,15	0,37	0,21
150	750	0,1388	0,30	0,46	0,33	0,0694	0,20	0,35	0,23
180	900	0,1666	0,30	0,55	0,37	0,0833	0,20	0,41	0,26
220	1.100	0,2036	0,35	0,58	0,40	0,1018	0,20	0,50	0,28
260	1.300	0,2406	0,40	0,60	0,44	0,1203	0,20	0,60	0,31
300	1.500	0,2776	0,40	0,66	0,47	0,1388	0,23	0,60	0,33

Briques cintrées Gourlier pour tuyaux de cheminée, compris enduit intérieur en mur de 0m,40 à 0m,50 d'épaisseur, le mètre linéaire.... ..... 9 fr. 85 à 11 fr. 50

Boisseaux Gourlier en terre cuite (haut. 0m,33) pour tuyaux de cheminées adossés au mur :

De 0,30 × 0,30 (5 fr. 75 le m. lin.)..... le cent 130 »
De 0,25 × 0,30 (5 fr. 10 »)..... » 115 »
De 0,22 × 0,25 (4 fr. 65 »)..... » 100 »
De 0,16 × 0,25 ..... » 90 »
De 0,20 × 0,20 ..... » 90 »
De 0,19 × 0,22 ..... » 90 »
De 0,17 × 0,19 ..... » 85 »
De 0,13 × 0,16 ..... » 70 »

On en fait encore de 0,30 × 0,35, 0,22 × 0,22, 0,15 × 0,15, etc.

Tubes terre cuite pour ventouses de cheminées :

De 0,08 × 0,12 et 0,30 ..... le cent 30 »

Couronnements de cheminées

Boisseaux circulaires pour ventouses de 0,02 d'épaisseur, 0,28 de diamètre, compris pose et scellement, le mètre linéaire. 4 30

On en fait encore de 0,25, 0,22, 0,19, 0,16, 0,13, 0,11..... 3 10

Boisseaux ferrugineux de 0,030 × 0,030 ..... le mèt. lin. 6 »

— de 0,020 × 0,024 ..... » 4 »

— ronds de 0,25 de diamètre..... 4 »

Tuyaux de cheminées ferrugineux Paupy de 0,15 × 0,20 0,19 × 0,22, 0,22 × 0,25..... le mèt. lin. 1 fr. 60 à 1 90

Tuyaux dits *wagons* en terre cuite, droits ou inclinés, pour cheminées dans l'épaisseur des murs, 6 pièces par m.

Pour mur de 0,50 (ravalé)..... le cent 110 »

— 0,45 ..... » 100 »

— 0,40 ..... » 95 »

— 0,34 ..... » 90 »

— 0,25 ..... » 80 »

Wagons à joints horizontaux croisés, 4 pièces par m.

Pour mur de 0,50 (ravalé)	le cent.	165 fr.	»
— 0,45	»	150	»
— 0,40	»	143	»
— 0,35	»	135	»

Les demi-wagons pour arases comptent comme wagons entiers.

Mitrons ronds de cheminées en terre cuite (pour placer au-dessus des souches) (*fig.* 1013) : le cent [1]

De 0,25 de diamètre	95 fr.	»
De 0,22	85	»
De 0,19	75	»
De 0,16	65	»
De 0,14 à 0,11	55	»

Fig. 1013. — Mitron.

Fig. 1014. — Lanterne.

Mitres carrées en grès ou terre cuite..... la pièce 1 fr. 25 à	1 fr.	35
— en plâtre, fourniture et pose	2	25

Poteries pour ventouses, *descentes*, etc. (haut., 0m,33) :

De 0,25 de diamètre	75	»
De 0,22	65	»
De 0,19	55	»
De 0,16	45	»
De 0,13	40	»
De 0,11	35	»

On fait des *coudes* de tous les diamètres ci-dessus et des *lanternes* de tous les diamètres, des chapiteaux et T pour cheminées, des têtes de cheminées, des boisseaux-mitres en terre cuite, etc. On fait aussi des têtes de cheminées en briques.

L'ordonnance de police du 22 novembre 1853 dit que : « Tout foyer mobile, brasero ou autre, alors même qu'on n'y brûle que de la braise ou du combustible ne produisant pas de fumée, est dangereux, s'il n'est, par un tuyau, en communication directe avec l'air extérieur. On ne doit, par la même raison, *fermer la clef d'un poêle* qu'après s'être assuré que le feu est complètement éteint. »

Pour les poêles, les calorifères, les ventilateurs, l'éclairage, voir l'*Aide-mémoire des Ingénieurs*, de J. Claudel et L.-A. Barré (1892).

Ventilation. — D'après le Dr Chaumont, 17° est la température la plus salutaire pour les habitations.

[1] Il faut ajouter de 1 fr. 05 à 0 fr. 61 pour la pose et la fourniture des garnissages et solins.

D'après le général Morin, les quantités d'air pur nécessaires, par tête et par heure, sont :

Hôpitaux (maladies non contagieuses)....	70 à 100 m³ d'air
— (maladies épidémiques).....	150 —
Prisons.....	50 —
Usines.....	60 —
Etablissements insalubres.....	100 —
Casernes (la nuit).....	40 à 50 —
Théâtres et salles de réunion.....	50 —
Ecoles.....	15 à 30 —
Ecoles d'adultes (le soir).....	jusqu'à 35 —
Ecuries.....	60 à 100 —

Pour chambres ordinaires, 15 à 20^{m3},0 par tête et par heure.

La quantité d'air nécessaire par flamme et par heure est :

Eclairage au gaz (dépense 0^{m3},1).....	26 m³ d'air
Bougie de stéarine ou de cire.....	6 —
Chandelle de suif (dépense 0^{kg},1 par heure)....	1,66 —
Lampe brûlant très haut.....	24 —

Le mouvement de l'air ne doit pas avoir lieu avec une vitesse supérieure à 1 mètre pour que le courant d'air ne soit pas gênant.

La ventilation par insufflation est la meilleure. L'air arrive avec une vitesse de 6 à 10 mètres par seconde, à la partie supérieure des salles ; on le lance horizontalement et on l'évacue par des orifices, à hauteur du sol. On admet 1/5 à 1/3 de cheval-vapeur par mètre cube introduit par seconde, soit pour 1 cheval-vapeur 10.200 à 18.000 mètres cubes par heure, la pression étant 6 à 8 millimètres d'eau au ventilateur.

Éclairage au gaz.— *Pose des branchements et robinets* (Arrêté, art. 4). — Aucun branchement ne pourra être établi sur une des conduites que la Compagnie parisienne d'Éclairage et de Chauffage par le gaz est autorisée à poser sur la voie publique sans une autorisation spéciale. Les robinets des branchements devront être placés dans les soubassements des maisons ou boutiques, ou dans l'épaisseur des murs.

Les robinets existant sous la voie publique seront supprimés aux frais de qui de droit, au fur et à mesure de la réfection des trottoirs et du pavé.

Robinet extérieur (Arrêté du 2 avril 1868, art. 4). — Le robinet extérieur de tout branchement sera placé à l'entrée du bâtiment dans l'épaisseur du mur, et renfermé dans un coffre disposé de telle sorte que le gaz qui s'y introduirait ne puisse s'échapper qu'en dehors du bâtiment. Ce coffre sera fermé par une porte en métal, dont les agents du service de l'éclairage et les Compagnies auront seuls la clef. Cette porte sera pourvue d'un appendice disposé de telle sorte que le consommateur ne puisse pas ouvrir le robinet pour faire circuler le gaz sans l'action préalable des Compagnies, mais de manière, cependant, qu'il lui soit possible d'user du gaz à volonté ou d'en arrêter l'introduction, dès qu'il aura été mis à sa disposition par les Compagnies; celles-ci lui remettront une clef à cet effet.

Robinet principal (*Ibid.*, art. 5). — Un robinet principal sera établi intérieurement à l'origine de la distribution, pour donner aux consommateurs du gaz la faculté d'intercepter l'introduction du gaz dans les appareils de distribution, malgré l'ouverture du robinet extérieur.

Tuyaux de distribution et de consommation (*Ibid.*, art. 7). — Les tuyaux de conduite et les autres appareils servant à la distribution et à la consommation du gaz doivent rester apparents, sauf les exceptions relatives à la traversée des plafonds, planchers, murs, pans de bois, cloisons, placards, espaces, vides intérieurs quelconques.

Toutes les fois que les tuyaux seront ainsi dissimulés, ils devront être placés dans un manchon continu, en fer forgé ou en cuivre. Ce manchon sera ouvert à ses deux extrémités et dépassera de 1 centimètre, au moins, les parements des murs, cloisons, planchers, etc., dans lesquels il sera encastré. Le diamètre intérieur de ce manchon aura, au moins, 1 centimètre de plus que celui du tuyau qu'il enveloppera.

Le manchon pourra, toutefois, être supprimé :

1° Dans les murs en pierre de taille, lorsque le tuyau ne traversera des murs ou cloisons que sur une longueur de moins de 0m,20 ;

2° Derrière les glaces, panneaux, etc., pourvu qu'il existe, entre les murs et les panneaux, un espace libre suffisant pour l'aération.

Si un tuyau est placé suivant son axe dans un mur, une cloison, un plafond, un parquet ou un plancher, le manchon du tuyau devra être terminé par un appareil à cuvette, assurant la ventilation de l'espace libre entre le tuyau et son manchon.

L'appareil de ventilation pourra comporter soit un tuyau droit enfermé dans le manchon, soit un tuyau à courbure ; mais, dans ce dernier cas, le diamètre extérieur de l'ouverture de la boîte de ventilation devra avoir au moins 0m,07, et sa profondeur ne pourra dépasser les deux tiers de ce diamètre. La partie courbe du tuyau devra avoir au moins 0m,10 de rayon, et le centre de cette courbe devra se trouver sur le plan passant par le fond de la cuvette, parallèlement à la surface du plafond.

Le raccord soutenant l'appareil à gaz devra être vissé à la cuvette et non fondu avec elle.

Les tuyaux de conduite et de distribution devront être construits en métal de bonne qualité, autre que le zinc, et parfaitement ajustés.

Brûleurs (*Ibid.*, art. 8). — Chaque brûleur devra être muni d'un robinet d'arrêt dont les canillons seront disposés de manière à ne pouvoir être enlevés de leurs boisseaux, même par un violent effort.

Un taquet sera placé de manière à arrêter le canillon dans une position verticale, lorsque le robinet sera fermé.

Ventilation des pièces éclairées au gaz (*Ibid.*, art. 9). — La ventilation ne sera pas obligatoire dans les salons, salles à manger, salles à billard, chambres à coucher de maîtres ni dans les appartements munis de cheminées d'appel spéciales, prenant l'air à la partie supérieure des pièces à ventiler et débouchant au-dessus de la toiture. Mais cette exception ne s'étendra pas aux arrière-boutiques, soupentes, entre-sols et sous-sols, en communication directe et permanente avec les boutiques, magasins, bureaux ou ateliers.

Mode de ventilation des saillies lumineuses et fermées (*Ibid.*, art. 11). — Les montres, placards et autres espaces fermés, contenant des brûleurs ou traversés par des conduites, et les caissons renfermant les

compteurs, lorsqu'il en est établi, devront être ventilés par deux ouvertures de 50 centimètres carrés, au moins, chacune.

CHAPITRE XIII

PEINTURE ET VITRERIE

Le peintre nettoie d'abord les ouvrages à peindre; cet *époussetage* se fait avec le balai de crin; on bouche ensuite les trous et fentes avec du mastic de blanc de céruse ou de blanc de zinc, ou du mastic de la couleur qui doit être appliquée ; les *rebouchages* se font à l'huile et à la colle.

La **peinture à la colle** ou en *détrempe* (blanc d'Espagne ou de Meudon et couleurs broyées à l'eau de rivière), et détrempée à la colle forte chauffée, ne doit jamais être appliquée sur une surface non sèche, car elle se tacherait: on ne l'applique qu'à l'intérieur. Elle est moins coûteuse que la peinture à l'huile; elle est bonne, lorsqu'elle file au bout de la brosse; si elle y reste attachée, c'est qu'elle ne contient pas assez de colle; elle serait alors peu durable. Trop de colle donne des grumeaux et fonce les couleurs. Les premières couches doivent être appliquées très chaudes, mais non bouillantes.

La peinture belle et solide se fait par des *encollages* et des *blancs d'apprêt*. Encoller, c'est étendre une ou plusieurs couches de colle; sur l'encollage se posent plusieurs couches de blanc, qu'il ne faut pas employer trop chaudes. Une forte couche posée sur une autre dont la colle serait faible tomberait par écailles.

La pierre ponce, promenée sur une surface, l'adoucit; après le ponçage, le nettoiement des moulures, la réparation de l'ouvrage adouci, on applique deux couches de couleur.

Sur la peinture en détrempe, après avoir passé deux couches d'une colle faible, quand l'encollage est sec, on peut donner deux ou trois couches de *vernis* à l'esprit-de-vin, pour produire du brillant; généralement, on ne vernit pas la détrempe, à cause du prix de ce travail. La peinture à la colle sans vernis s'appelle *détrempe mate*.

La *détrempe à la chaux* est employée pour blanchir les parements extérieurs; la chaux, mélangée de bleu et de térébenthine, qui lui donne du brillant, est détrempée dans de la colle de peau avec de l'alun; on l'applique sur les murs à deux ou trois couches minces avec une grosse brosse. On imprime quelquefois l'enduit qu'on veut peindre avec du lait et de l'eau.

Pour la détrempe des murs intérieurs on peut infuser à l'eau

la couleur qu'on détrempera à la colle de peau; en mêlant l'ocre jaune au blanc de craie, on a le ton jaune de pierre.

Le *badigeon* [1] est employé pour peindre l'extérieur et s'applique sur enduits de chaux ou plâtre. Il blanchit en séchant, il faut en donner 3 couches légères.

Badigeon conservateur Bachelier: 23 parties de chaux récemment éteinte et tamisée, 7 de plâtre tamisé, 8 de céruse en poudre, 9 de fromage mou bien égoutté (fromage à la pie); après mélange et broyage, on ajoute de l'ocre jaune ou rouge.

Badigeon de Lassaigne: On éteint 100 parties de chaux vive avec de petites quantités d'eau et on délaye ensuite dans une plus grande quantité pour en faire un lait de chaux. On délaye 5 parties d'argile dans l'eau, puis on la mélange avec le lait de chaux. On laisse le mélange un jour dans des baquets qu'on remue de temps en temps. On ajoute alors 2 parties d'ocre jaune.

Peinture à la pomme de terre Cadet Devaux: 1 kilogr. de pommes de terre cuites à l'eau et pilées, 2 kilogr. de blanc d'Espagne détrempé ou de matières colorantes, 8 kilogr. d'eau. S'emploie comme la détrempe ordinaire.

Badigeon américain: 17 litres de chaux vive, éteinte dans l'eau bouillante, puis passée dans un tamis fin; 9 litres de sel blanc dissous dans l'eau chaude; 1^{kg} 1/2 de farine de riz réduite en bouillie claire, agitée et portée à l'ébullition; 0^{kg},225 de blanc d'Espagne en poudre; 0^{kg},500 de colle claire, détrempée dans l'eau et chauffée au bain-marie, 23 litres d'eau chaude. On peut y ajouter des matières colorantes. On remue ce mélange, on laisse reposer plusieurs jours, puis on l'applique très chaud avec des brosses en le puisant dans une marmite posée sur fourneau portatif. Il en faut 0^{kg},7 pour 1 mètre carré de mur extérieur.

Peinture à l'huile. — L'*huile de lin* est rendue blanche par son exposition au soleil dans une cuvette de plomb, pendant un été, avec de la céruse ou du blanc de zinc et une petite quantité de talc calciné. On la blanchit encore en mettant 61 grammes de litharge dans 4^{lit},55 d'huile; après avoir remué ce mélange pendant 15 jours, on le laisse reposer 2 jours, puis on le soutire en ajoutant 1/2 litre d'esprit de térébenthine; enfin on expose 3 jours au soleil.

L'*huile de noix*, blanche, s'emploie pour broyer les couleurs communes aux tons foncés.

L'*huile d'œillette*, d'un blanc jaunâtre, s'emploie pour broyer les teintes claires et brillantes.

L'*huile grasse* est une sorte de siccatif.

Les couleur à l'huile doivent être couchées à froid; mais, lorsqu'on veut préparer une surface neuve ou humide, on applique

[1] Le badigeon à la chaux et à l'alun revient à 0 fr. 18 le mètre superficiel avec deux couches, compris époussetage.

la couleur à l'huile bouillante. Elle ne doit jamais filer au bout de la brosse.

On enduit l'objet d'une ou 2 couches de blanc de céruse (dangereux) ou de blanc de zinc (inoffensif) broyé et détrempé à l'huile (*impression*). Les impressions pour ouvrages extérieurs, portes, fenêtres, volets, persiennes, etc., se font à l'huile de noix pure ou mélangée de 6 à 8 décagr. d'essence par kilogr. de couleur; trop d'essence ferait brunir, puis tomber les couleurs. Pour ouvrages intérieurs, la première couche sera broyée et détrempée à l'huile pure, et les deux dernières à l'essence pure, si la peinture doit être vernie.

Dans le cas contraire, la première couche sera à l'huile pure, et les deux dernières à l'huile coupée d'essence. Pour couvrir le bois, on détrempe le blanc un peu plus épais avec de l'huile et du siccatif.

Pour peindre sur les *nœuds des bois* résineux, on se sert d'huile broyée avec de la litharge, en ne dépassant pas les nœuds; on peut enduire les nœuds de minium à l'huile.

Le fer s'imprime au minium.

Certaines couleurs (jaune de stil de grain, noir de charbon, noir d'os, d'ivoire), broyées à l'huile, ne séchant que difficilement, on les broie avec des siccatifs.

Lorsqu'on doit poser des *lambris*, on applique, sur le revers du derrière du lambris, 2 ou 3 couches de rouge, à l'huile de lin, et l'on pose la boiserie une fois la peinture sèche.

Pour une première couche d'impression de 4 mètres carrés, il faut 600 grammes de blanc de céruse en détrempe.

Pour 4 mètres carrés à 3 couches, il faut 1 kilogr. et demi de couleur (dont 550 grammes pour la première couche, 500 pour la deuxième, 450 pour la troisième), comprenant $1^{kg},25$ de couleur réelle, 6 ou 8 décilitres d'huile ou d'huile et d'essence.

Une belle peinture blanche pour intérieur, qui sèche et cesse de sentir au bout de 6 heures, mais est dispendieuse, est obtenue avec $4^{lit},545$ d'esprit de térébenthine et 900 grammes d'encens mâle ou franc, bouillis jusqu'à dissolution; on passe cette liqueur dans un linge en exprimant. On s'en sert dans la proportion de 1 litre de mélange pour $4^{lit},545$ d'huile de lin blanche bien remuée; on y ajoute du blanc de céruse et de l'esprit de térébenthine; si la couleur est trop épaisse, on y augmente la dose de l'esprit.

Pour faire sécher promptement, on ajoute à 500 grammes de couleur à l'huile 30 à 45 grammes de *siccatif*, composé d'égales parties de plâtre calciné, de terre d'ambre brûlée, de minium et de litharge d'argent, mêlées avec de l'huile de lin et bouillie pendant 8 à 9 heures sur un feu lent; on ajoute 1 litre et demi d'huile de lin et 5 litres d'huile de térébenthine pour 1 kilogr. des substances précédentes.

Peinture au lait : 15 à 20 décilitres de lait écrémé passé, 18 à 20 décagr. de chaux récemment éteinte, 12 à 13 décagr. d'huile d'œillette, de lin ou de noix, 240 à 250 décagr. de blanc d'Espagne. On colore cette peinture avec du charbon broyé à l'eau, des ocres jaunes ou rouges, etc. Cette peinture, lorsqu'on l'emploie sur bois blancs, doit être préparée par une lessive à l'eau seconde ou à l'ammoniaque.

Peinture pour intérieurs : Azur : Outremer délayé dans 25 grammes de blanc d'œuf pourri et 5 grammes de gomme arabique fondue dans 0lit,02 d'eau.

Blanc : blanc d'argent délayé dans 25 grammes de blanc d'œuf et 8 grammes de gomme (ou blanc de Meudon, céruse, blanc de zinc).

Noir : noir d'ivoire, 25 grammes de blanc d'œuf, 10 grammes de gomme.

Vert (sous-acétate de cuivre): vert anglais, employé par glacis et sur fond blanc. L'œuf ne sert que pour raccords et retouches; on repeint avec des tons moitié plus clairs.

L'*or* s'applique à la cire.

Les bordures exigent un soin tout particulier.

Mélange des couleurs pour composer les teintes

(*d'après Daniel Ramée*)

JAUNES

Couleur d'or	blanc, jaune de chrome 1/10, ou jaune minéral 3/4, et vermillon ou cinabre 1/100.
Citron	blanc 40 parties, jaune de chrome 1, bleu de Prusse 1.
Couleur soufre . . .	blanc, jaune minéral 4/5, bleu de Prusse 1/400.
Jaune serin.	jaune minéral pur.
Jonquille.	blanc 5 parties, jaune de chrome 1.
Jaune paille.	blanc 40 parties, jaune de chrome 1.
Chamois.	blanc 30 parties, jaune de chrome 1, vermillon 1.
Chamois foncé . . .	blanc 10 parties, terre de Sienne 1.
Couleur de pierre. .	blanc 15 parties, ocre jaune 1.
Nankin	blanc 40 parties, rouge de Prusse 1, ocre jaune 1/2.

ROUGES

Écarlate	vermillon de Chine, pur.
Cramoisi.	parties égales de laque carminée et de vermillon.
Rouge cerise	vermillon de Chine, pur.
Rose.	blanc, laque carminée ou laque de garance 1/10 (en diminuant la proportion de laque, on a des roses plus clairs).
Amarante	bleu, rouge, laque 1/4, blanc 1/4.
Lilas.	blanc, laque 1/15, bleu de Prusse 1/60.

BLEUS (*cyanure double de fer*)

Bleu azuré.	blanc, 1/120 de bleu de Prusse ou 1/130 d'outremer.
B. barbeau ou bluet.	blanc, bleu de Prusse 1/50, laque 1/500.

Prix des couleurs, etc., et divers ouvrages de peinture

Blanc de zinc, le kg.	0f,65 à 0f,85	Jaune de chrome, le kg.	2f,50 à 4f »
Blanc de céruse en pierre...	0 52	Litharge ..... le kg.	0 60
Blanc de Meudon, les 100 pains	8 50	Mastic de vitrier..... —	0 25
Bleu de Prusse, le kg.	6 50 à 10 »	Minium, le kg.....	0 50 à 1 10
Bleu d'outre-mer broyé à l'huile, le kg.....	3 50	Noir de fumée, le kg.	0 70 à 2 »
Brun Van-Dyck, en poudre, le kg.....	1 25 à 2 »	Ocre rouge ou jaune, à maçon, le kg.....	0 25 à 0 60
Céruse, le kilogramme	0 60	Ciment porcelaine hydrofuge le kg	1 55 à 1 80
Ciment métallique (poudre et liquide), le kg.....	0 60	Potasse, le kg.....	1 »
Cire jaune, le kilogramme..	4 60	Pierre ponce, le kg.	0 60 à 0 80
Cire blanche vierge le kg...	5 50	Siccatif liquide, le litre	2 à 3 »
Eau seconde, le litre	0 20 à 0 30	Terre d'ombre et de Sienne, le kg	2 60
Essence de térébenthine, le l.	0 85	Terres à décor, le kg.	1 50 à 3 »
Goudron de gaz, le kg.....	0 25	Vermillon, le kg.....	1 à 12 »
Huile de lin épurée, le kg.	0 70 à 1 »	Vernis[1], le litre.....	2 50 à 5 »
		Vert anglais, le kg.....	0 80

Façon de coupe de pierre (tracé et peinture de filets imitant les lits et joints des assises), compris fournitures de couleurs :

A un filet sans frottis d'un seul ton. Le mètre carré.	0f,45
A 1 filet, 2 tons mélangés. Le mètre carré.	0 50
A 3 filets. . . . . 0 fr. 80 à	0 95
Détrempe, 1 couche sur couche d'encollage ou d'huile. Le m. car	0 16
Encollage à la colle de peau, 1 couche pour plafonds et murs. .	0 14
Filets secs pour joints à l'huile pour assises. Le mèt. linéaire. .	0 12
— avec épaisseurs ou ombres de 3 à 5 centimètres de large. .	0 24
Grattage de détrempe sur plafonds, murs et bois unis. Le m. car. .	0 19
Huile, 1 couche sur impression	0 35
— chaque couche en plus sur impression ou ancien fonds . .	0 38
Lessivage à l'eau seconde. Le mètre superficiel	0 14
Or jaune et or citron, 40 livrets de chacun 25 feuilles 0m,085 × 0m,085. Les 1000 feuilles.	63 »
Papier gris, fourni et collé. Le rouleau	0 64
Papier de verre. Les 100 feuilles.	4 75
Ponçage. Les 100 feuilles . . . . . 0 fr. 12 et	0 19
Rebouchage à la colle	0 12
— à l'huile	0 23
— au mastic teinté.	0 30

La Société des Gommes nouvelles et Vernis fabrique des *peintures vernissées* à base de zinc et de plomb qui donnent aux surfaces l'aspect de l'émail et de la porcelaine ; on applique une couche de fond avec de la peinture à l'huile ordinaire et, lors-

[1] Le mètre superficiel de vernis revient de 0 fr. 45 à 0 fr. 70 par couche.

qu'elle est sèche, on pose par dessus une couche de peinture vernissée ; avec 1 kilogr. de peinture vernissée, on couvre 10 mètres carrés; le prix du kilogr. est de 2 fr. 50 ; avec la main-d'œuvre, le prix du mètre carré ressort à 0 fr. 40. Avec la peinture ordinaire, il faudrait 3 couches, plus une de vernis, soit 1 fr. 40 le mètre carré.

Papiers peints. — Le papier peint se colle, lorsque les murs sont nettoyés et grattés et qu'on en a fait disparaître les inégalités. On colle d'abord souvent sur les murs du papier bulle ou papier gris, sur lequel on applique le papier de tenture.

Le papier bulle se vend en rouleaux de 7 mètres $\times$ $0^m,50$. Le papier de tenture, dit carré, a $8^m,75 \times 0^m,47$; posé, il couvre 4 mètres carrés. Le rouleau de papier grand raisin a $8^m,00 \times 0^m,50$ et couvre $5^{m2},50$.

Les bordures se vendent aussi en rouleaux. La colle employée est faite de farine et d'eau.

Linoleum. — Le linoleum, fabriqué avec de la poudre de liège et de l'huile de lin oxydée, se fait en teintes unies, couleur bois, marron, et avec dessins variés. Les couleurs sont appliquées sur la pâte chaude et incrustées. Le lin s'applique sur les murs humides, comme tentures, panneaux décoratifs, soubassements.

Vitrerie. — Les carreaux de verre se posent à l'extérieur des fenêtres et portes, dans de petites feuillures pratiquées dans les pièces de bois verticales et horizontales.

Le *verre* du Nord est vert, celui de Lyon est jaunâtre, celui de Bagneux (Haute-Marne) et de Choisy, près Paris, est plus blanc. On emploie le verre d'Alsace, fabriqué à Saint-Quirin, près Sarrebourg; à Baccarat, près Lunéville ; à Saint-Louis, près Bitche; à Cirey, près Blamont; à Monthermé (Ardennes); à Prémontré (Aisne). Les verres d'Alsace ordinaires ont de 1 à 4 millimètres d'épaisseur; ceux qui ont de 3 à 4 millimètres sont dits *verres doubles*. Le mètre superficiel de verre ordinaire pèse de 5 à 6 kilogr.

Le *verre dépoli* (verre tendre auquel on a enlevé le poli et la transparence par le frottement du sable ou du grès) est plus propre que le verre transparent.

Le *verre cannelé* est employé pour dérober à la vue les objets, sans diminuer l'intensité de la lumière; il fatigue la vue.

Verres à vitres. Feuilles par caisse: simple, 60 feuilles. — 1/2 double, 40 feuilles. — Double, 30 feuilles. — La feuille, $0^{m2},45$.

Mesures du commerce

$0,69 \times 0,66$	$0,81 \times 0,57$	$0,96 \times 0,48$	$1,14 \times 0,39$
$0,72 \times 0,63$	$0,87 \times 0,54$	$1,02 \times 0,45$	$1,20 \times 0,36$
$0,75 \times 0,60$	$0,90 \times 0,51$	$1,08 \times 0,42$	$1,26 \times 0,33$

Prix de la caisse	Prix du mètre simple	1/2 double	double
90 à 42fr	3fr,33 à 1fr,59	5 à 2fr,33	6fr,66 à 3fr,11

Verres cannelés, simples. . . . . la feuille 2 fr.
Verres dépolis — . . . . . — 1 40
— demi-double. . . . . — 1 90
— double. . . . . — 2 25

Verres mousseline, dépolis et à dessin à jour, de Choisy-le-Roi, la feuille dans les 12 mesures du commerce :

	Simple	1/2 double	double
Fond à jour. . . .	2f »	3f »	4f »
Fond mat.	2 50	3 75	5 »

Verres de couleur, la feuille simple de 0m,81 et 0m,57 :

Vert	5f »	Rouge	4f,50
Bleu	3 »	Jaune	2 50
Violet.	3f »		

Verres coulés à reliefs, rayés ou à petits losanges. . . . . 5 »
— *striés*. . . . . 5 »
Glaces brutes ordinaires pour toitures (épaisseur de 9 à 12mm), le mètre superficiel. . . . . 10 »
Tuiles moulées en verre blanc (Saint-Gobain), suivant les dimensions . . . . . 1 40 à 2 »
Pose à façon de verre simple, demi-double, double ou cannelé, compris toutes fournitures, sans nettoyage et à surfaces de plus de 4 mètres dans la même maison : croisées, châssis et portes, le mètre superficiel. 1 25
Idem : châssis comble, lanternes ou marquises. 2 25
Pose de glaces, compris risques, en blanc ou étamées, compris pose en parquets et fournitures, jusqu'à 1 mètre de surface, le mètre superficiel. 1 85
Idem de 1 à 2 mètres. 2 50
— de 2 à 3 — 3 45
— de 3 à 4 — 4 25
— de 4 à 5 — 5 65

Prix des glaces non étamées de Saint-Gobain

Dimensions	Prix	Dimensions	Prix
0m,06 × 0m,18.	0f,25	0m,75 × 0m,75	18f,75
0 ,12 × 0 ,18.	0 55	0 ,93 × 0 ,93	33 »
0 ,18 × 0 ,18.	0 75	1 ,32 × 1 ,32	51 15
0 ,18 × 0 ,30.	1 30	1 ,71 × 1 ,71	155 »
0 ,30 × 0 ,30.	2 25	2 ,04 × 2 ,88	368 »
0 ,54 × 0 ,54.	8 55		

Les plaques de propreté en glaces, y compris biseau et 2 trous à vis, se font de 0,15 à 0,72 de hauteur, avec 0,05 à 0,12 de largeur. Une plaque de 0,15 × 0,05 vaut 0 fr. 50 ; celle de 0,15 × 0,12 vaut 1 fr. 05 ; celle de 0,60 × 0,05 vaut 1 fr. 90 ; celle de 0,60 × 0,12 vaut 3 fr. 70.

Les **fers à vitrage** (*fig.* 1015), ou *petits bois*, permettent de créer toutes sortes de formes; on fait des vitrages dont les carreaux sont coupés en segments de cercle, ou en angle, afin de faciliter l'écoulement des eaux.

Fig. 1015.

Mastics. — Le *mastic à l'huile* sert à réparer les cassures des pierres et à remplir les joints des pierres de taille.

Le *mastic à chaud* sert pour faire certains joints, refaire des angles cassés; il se compose de 1 partie de goudron, 1/2 de colophane et 1/5 de poudre de tuileaux, fondus sur un feu lent. On emploie aussi la colophane chaude mélangée de grès en poudre.

Le mastic *Dhil* est un des meilleurs: c'est un mélange de poudre de brique pilée ou d'argile bien calcinée, de litharge, de protoxyde rouge de plomb, etc.

Mastic Thénard : 93 d'argile calcinée pulvérisée, 7 de litharge en poudre, gâché avec de l'huile de lin pure: s'applique comme le plâtre; le mur doit être auparavant humecté avec une éponge trempée dans l'huile.

Mastic de La Rochelle : 15 parties (en volume) de sable caillouteux, 14 de calcaire pulvérisé, 1/14 (en poids) de litharge, 1/7 d'huile de lin.

Mastic hydraulique : Tuf en poudre, sang de bœuf, chaux pulvérisée.

Mastic pour scellement du fer dans la pierre : 1 de chaux hydraulique, 2 de poudre de tuileaux, 1/2 de limaille de fer mise en pâte par de l'huile de lin.

Mastic gras pour jointoiement de tuyaux en fonte: minium, poudre de tuileaux, sable fin, huile de lin.

Mastic de vitrier : céruse ou craie et huile de lin.

Mastic de menuisier, pour réparer les trous, gerçures, etc., du bois : ocre, céruse ou blanc d'Espagne, huile de lin; quelquefois sable fin ou tuileaux.

CHAPITRE XIV

HYDRAULIQUE, ASSAINISSEMENT [1], TUYAUTERIE

Conduites d'eau. — Les tuyaux de conduite doivent résister à une pression d'épreuve de 15 atmosphères. Pour les grandes villes,

[1] Voir *Manuel de Génie sanitaire*, par L.-A. Barré et Paul Barré fils, 1897-98, ainsi que l'*Aide-Mémoire des Ingénieurs*, t. I.

la pression de l'eau dans les conduites est de 3 à 6 atmosphères, au maximum 10.

Les branchements se font en tuyaux de *plomb* (de 3 à 6 millimètres d'épaisseur), quelquefois doublés d'étain fin.

Les *tuyaux d'amenée* de l'eau dans les habitations ont, pour un seul robinet, les diamètres suivants : pour cuisine, $d = 13$ millimètres; pour lavabo, $d = 13$ à 15 millimètres; pour baignoire, $d = 20$ millimètres; pour cabinets d'aisances, $d = 15$ millimètres. Les *tuyaux de décharge* ont 50 millimètres, quand ils sont verticaux, et 65 millimètres quand ils sont horizontaux.

Les robinets pour *bouches à incendie*, placées dans les fabriques et magasins, doivent avoir au moins 50 millimètres d'ouverture; pour habitations, il suffit de 25 millimètres. Les tuyaux en fonte sont les plus employés pour conduites d'eau.

L'écoulement d'eau dans les routes et chemins du département de la Seine a été réglé par l'arrêté du 11 juillet 1891.

Les tarifs des abonnements à la Compagnie des Eaux de Paris ont été établis par les arrêtés préfectoraux de juillet 1880 et du 8 août 1894.

Loi relative à l'assainissement de Paris et de la Seine
(10 *juillet* 1894)

. . . . . .

Art. 2. — Les propriétaires des immeubles situés dans les rues pourvues d'un égout public seront tenus d'écouler souterrainement et directement à l'égout les matières solides et liquides des cabinets d'aisances de ces immeubles.

Il est accordé un délai de trois ans pour les transformations à effectuer à cet effet dans les maisons anciennes.

Art. 3. — La ville de Paris est autorisée à percevoir des propriétaires de constructions riveraines des voies pourvues d'égouts, pour l'évacuation directe des cabinets, une taxe annuelle de vidange qui sera assise sur le revenu net imposé des immeubles, conformément au tarif ci-après :

10 fr. pour un immeuble d'un revenu imposé à la contribution foncière ou à celle des portes et fenêtres inférieur à 500 fr.;
30 fr. pour un immeuble d'un revenu imposé de 500 fr. à 1.499 fr.;
60 fr. pour un immeuble d'un revenu imposé de 1.500 à 5.996 fr.;
80 fr. pour un immeuble d'un revenu imposé de 3.000 fr. à 5.999 fr.;
100 fr. pour un immeuble d'un revenu imposé de 6.000 fr. à 9.999 fr.;
150 fr. pour un immeuble d'un revenu imposé de 10.000 à 19.999 fr.;
200 fr. pour un immeuble d'un revenu imposé de 20.000 à 29.999 fr.;
350 fr. pour un immeuble d'un revenu imposé de 30.000 à 39.999 fr.;
500 fr. pour un immeuble d'un revenu imposé de 40 000 à 49.999 fr.;
750 fr. pour un immeuble d'un revenu imposé de 50.000 à 69.999 fr.;
1.000 fr. pour un immeuble d'un revenu imposé de 70.000 à 99.999 fr.;
1.500 fr. pour un immeuble d'un revenu imposé de 100.000 fr. et au dessus.

En ce qui concerne les immeubles exonérés, à un titre et pour une

cause quelconque, de la contribution foncière sur la propriété bâtie, la ville pourra percevoir une taxe fixe de 50 francs par chute.

Arrêté concernant l'écoulement direct à l'égout
(24 *décembre* 1897)

Article 1er. — L'évacuation des matières solides et liquides des cabinets d'aisances sera faite directement à l'égout public dans les voies désignées par la délibération du Conseil municipal régulièrement approuvées.

Art. 2. — Le délai de trois ans accordé par l'article 2 de la loi du 10 juillet 1894 pour les transformations à effectuer à cet effet dans les maisons anciennes court à partir de la date fixée par les arrêtés d'approbation.

Art. 3. — Des chasses d'eau suffisantes devront assurer l'évacuation à l'égout et les dispositions adoptées devront empêcher toute communication entre l'atmosphère de l'égout public et celle des immeubles riverains.

Art. 4. — Tout propriétaire se disposant à installer dans son immeuble l'écoulement direct à l'égout des matières de vidange devra adresser à l'administration des plans et coupes cotés des travaux, permettant de s'assurer de l'exécution des prescriptions du présent arrêté. A défaut d'avis de la part de l'administration, les travaux pourront être entrepris vingt jours après le dépôt des plans constaté par récépissé. L'entrepreneur restera d'ailleurs soumis à la déclaration préalable prescrite par l'ordonnance du 20 juillet 1838 (art. 1er).

Art. 5. — Les fosses et caveaux rendus inutiles par suite de l'application de l'écoulement direct à l'égout seront vidés et immédiatement désinfectés.

Art. 6. — La projection à l'égout de tout corps solide autre que les matières de vidange est formellement interdite.

Cabinets d'aisances. — D'après la Commission des Logements insalubres, le cabinet d'aisances doit être aéré et éclairé directement par une baie de 24 décimètres carrés de section. Il doit avoir 1 mètre de largeur, 1m,20 de long et 2m,60 de haut. Les enduits des murs à l'intérieur doivent être faits en ciment jusqu'à la hauteur de 1 mètre au moins, le surplus peint à l'huile à base de blanc de zinc, ton clair. Les parois, revêtues de carreaux de faïence sont préférables. Le sol et le siège des cabinets d'aisances communs doivent être en matériaux imperméables et imputrescibles tels que pierre, fonte, fer, ciment, etc. Le sol doit être réglé en pente de tous sens vers une goulotte disposée au bas du siège pour l'écoulement des liquides dans le tuyau de chute, au-dessus de la valve de la cuvette.

Le siège doit être à 0m.20 au moins et 0m,35 au plus au-dessus du sol et muni d'un appareil hermétique fonctionnant automatiquement.

L'isolement des cabinets d'aisances doit être aussi complet que possible ; on doit surtout les éloigner de la cuisine.

On devrait toujours les munir d'une cuvette et d'un système de

chasse. La cuvette, au lieu d'être entourée d'une caisse en bois, doit être libre. La cuvette en porcelaine devra communiquer directement avec l'égout par un tuyau *t* auquel elle sera reliée par un siphon *s*. Ce siphon amorcé donnera lieu à un écoulement violent d'eau qui, provenant du réservoir de chasse, débouchera dans la cuvette *c* par l'intermédiaire d'un tuyau et d'une fente *f* (*fig.* 1016). Le système de chasse doit se composer d'un réservoir

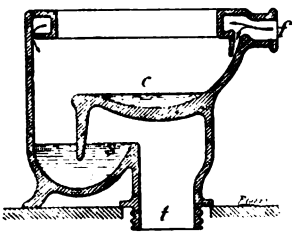


Fig. 1016.

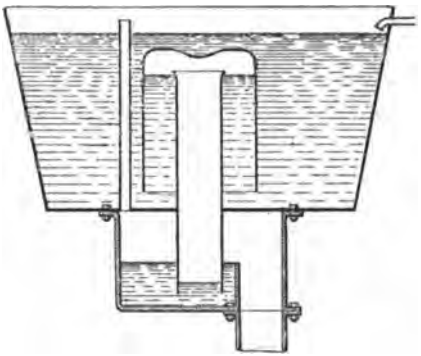


Fig. 1017.

élevé de 2 mètres au-dessus de la cuvette et contenant 10 à 15 litres d'eau. Le fonctionnement de l'appareil peut être automatique ou à tirage. Le premier consiste en un siphon amorcé par un écoulement constant d'eau et qui se vide brusquement à intervalles réguliers.

Les systèmes de tirage ont leur siphon, qui s'amorce par la traction d'une chaîne, et l'écoulement de l'eau est arrêté en temps opportun par un mécanisme mis en jeu par un flotteur.

Prix de divers appareils sanitaires

Pot de siège, compris pose, massif et solins, la pièce. . . . . 1 fr. 25
Siège d'aisances à effet d'eau et à bascule, prix de la pose, massif et solins, la pièce. . . . . 2 »
Siège en fonte, sans cuvette, trou rond (Rogier et Mothes) seul avec son tablier (large 0,62, prof. 0,36, haut. 0,28, poids 15 kilogr.) . . . . . 17 »
Siphons du Val-d'Osne à fermeture hydraulique constante et absolue, pour tuyaux de 0,216 et 0,081, la pièce. . . . . 50 »
Idem pour tuyaux de 0,108 et 0,189, la pièce . . . . . 22 »
Siphons obturateurs pour éviers, urinoirs, lavabos, etc., en grès émaillé de 0,035 à 0,040 de diam. 7 fr. 50 et 8 50
Cuvette avec siphon en grès fin émaillé de Pouilly-sur-Saône (modèle pour application du tout à l'égout). Poids de la cuvette, 4 kilogr. . . . . 10 »

Poids du siphon, $3^{kg},5$. . . . . 6 fr. »
Les mêmes cuvettes de 0,42 de haut, 0,42 de large, du poids de $7^{kg},15$ . . . . . 15 »
Le siphon correspondant pèse $6^{kg},5$ . . . . . 10 »

La figure 1018 représente la coupe d'une maison avec application du tout à l'égout. La maison E. Jacob et Cie (Grès français de Pouilly-sur-Saône), qui fait ces installations, a bien voulu nous prêter cette planche.

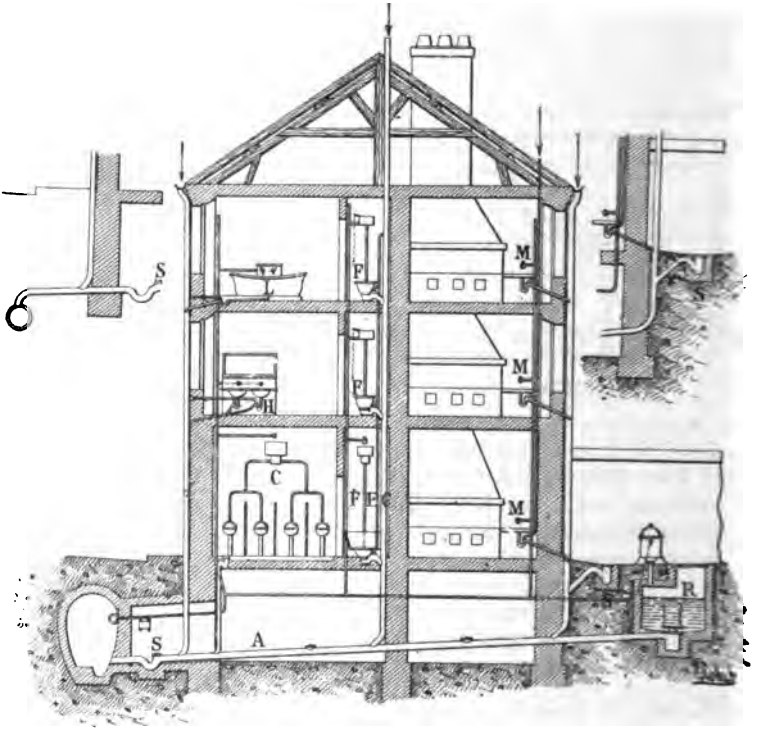


Fig. 1018. — Coupe d'une maison assainie et canalisée pour le système du *tout à l'égout*.

A, conduite principale. — R, réservoir de chasse nettoyant la conduite principale alimentée par les eaux de la fontaine. — C, tuyaux de chute. — S, siphons. — E, tuyau de ventilation. — F, water-closets. — G, urinoirs. — H, lavabos. — L, baignoire. — M, éviers de cuisine (d'après Jacob).

Les *réservoirs de chasse à tirage* valent de. . . . . 30 à 38 fr. »
Une installation (E. Jacob) complète de cabinets privés, comprenant cuvette et réservoir de chasse, vaut de. . . . . 50 à 170 »
Siphon en fonte émaillée (Jacob), cuvettes . . . . . 15 à 20 »

Urinoirs-appliques en grès émaillé et demi-porcelaine, 0m,36 de haut sur 0m,30 de large. . . . . 20 à 28 fr. »
Lavabos en demi-porcelaine et grès émaillé, cuvette de 0,26 sur 0,22. . . . . 17 »
Postes d'eau, en demi-porcelaine et grès émaillé, haut 0,56, largeur 0,36; saillie, 0,28. . . . . 24 »
Evier en grès cérame, 0,46 × 0,34 × 0,065. . . . . 13 »
— — 0,78 × 0,50 × 0,12 . . . . . 48 »
Robinets à tête et raccord à repoussoir ou clapet (Guinier-Vuillot), diamètres de 0m,012 à 0m,035, polis, depuis. . . . . 11 à 33 »
Robinets à vis, tête et raccord, diam. de 0,010 à 0,035. . . 11 à 28 50
Bondes siphoïdes, diamètres de 0,021 à 0,065. . . . . 2 fr. 50 à 16 50

Tuyaux en sidéro-ciment. — M. J. Bordenave est le créateur d'un système de construction appelé *sidéro-ciment*, qui se compose d'une ossature en petits aciers spéciaux noyée dans une coulée de mortier de ciment.

Cette sorte de ciment armé est appliquée aux tuyaux de conduites d'eau et aux réservoirs, avec le plus grand succès; dans ces cas, l'ossature est formée de barres profilées, cintrées de champ en hélice cylindrique, dont les spires sont intérieurement réunies, suivant des génératrices, par un nombre suffisant de barres droites de même nature et de semblable profil.

M. J. Bordenave a adopté comme profils non pas des fers ronds ou carrés, de résistance insuffisante dans bien des cas, mais des fers à **T**, des fers à **U**, des fers cornières, des fers **I**, mais surtout ces derniers, qui résistent le mieux aux efforts de flexion, de compression ou d'allongement. M. Bordenave a été amené aussi, dans bien des cas, à substituer l'acier au fer. Le coefficient de dilatation de l'acier étant à peu de choses près le même que celui du ciment, on n'a donc pas à craindre les déchirements que pourraient provoquer des dilatations différentes dans les constructions en sidéro-ciment, que l'on fait avec du ciment à prise rapide toutes les fois qu'il peut être procédé à un parfait moulage par coulée. Le ciment lent est réservé pour crépis ou renformis et radiers de réservoirs.

L'adhérence du ciment est très grande sur les fers en **I**; il n'y a pas de points faibles aux mailles, et les grandes chaleurs ni le retrait du ciment ne produisent ni fentes ni fissures sur les ouvrages en sidéro-ciment. Le métal se conserve de plus parfaitement dans le ciment.

Nos figures 1019 et 1020 montrent l'ossature des tuyaux cylindriques et des bagues de M. J. Bordenave.

Nous croyons devoir reproduire ici, d'après l'article de M. H. Mamy dans *le Génie civil*, la note sur la confection des tuyaux cylindriques en sidéro-ciment.

« Les bottes de fer en **I**, formées chacune d'une barre enroulée

à plat à la sortie du laminoir, sont posées une à une sur le plateau horizontal d'un dévidoir tournant autour de son axe et qui précède la cintreuse. Les barres sont successivement engagées dans cette machine ; elles en sortent cintrées de champ en hélice cylindrique du diamètre voulu.

On prend un certain nombre de ces bottes de barres cintrées. On les place sur un mandrin extensible fermé à un diamètre un peu inférieur à celui des spires. On le recouvre ensuite au diamètre des spires, et celles-ci, après avoir été convenablement espacées, sont fixées par quelques ligatures provisoires sur deux longerons diamétralement opposés du mandrin extensible.

Pour renforcer les deux extrémités du tuyau, on rapproche graduellement l'une de l'autre les spires de cette partie de l'ossature, sur 30 centimètres seulement de hauteur à la base et sur 1 mètre environ au sommet. La coulée se faisant verticalement, le mortier se trouve moins tassé vers le haut, et l'on compense cet inconvénient par une plus grande quantité de métal. Coupées à l'avance de longueur exacte, les barres longitudinales sont alors introduites dans le mandrin et reliées aux spires, suivant des génératrices, par un nombre suffisant de ligatures définitives. Les ligatures provisoires sont coupées, puis le mandrin est desserré de nouveau pour enlever l'ossature terminée.

Le moulage des tuyaux s'exécute de la manière suivante :

Sur une aire plane et horizontale sont établies deux voies ferrées circulaires et concentriques. La voie extérieure a 2 mètres de largeur d'axe en axe des rails. Elle est faite de traverses en forme de ⌐¬ de $2^m,40$ de longueur, espacées de 50 centimètres, et au milieu de chacune d'elles est percé un trou circulaire dont le diamètre surpasse de 2 millimètres environ celui de l'axe du mandrin du moule. Sur cette voie repose, par quatre galets à gorge de 35 millimètres de diamètre, un léger chariot en charpente métallique. Les essieux des galets convergent vers le centre des voies.

Au-dessus du sol, à une hauteur un peu supérieure à 3 mètres, est établi un plancher en madriers, à la hauteur duquel un treuil élève les matériaux. Il porte les accessoires et les hommes du moulage. A l'arrière du plancher, on a pratiqué un évidement ou échancrure, qui permet d'ouvrir largement les coquilles pour dégager le chariot du tuyau coulé.

Un pylone, qui s'élève à $4^m,50$ au-dessus du plancher, recouvre cet évidement. Il porte un treuil Mégy qui permet d'élever ou de descendre à volonté le mandrin.

Les coquilles, ouvertes en grand par un mouvement de rotation autour de leur ligne de jonction de l'avant, prise comme axe, sont élevées un peu au-dessus de terre et accrochées au bord de l'évidement, sans cesser pour cela d'être suspendues, comme

le mandrin, au ciel du pylone, mais par les chaînes sans fin de poulies différentielles qui en rendent la manœuvre sûre et facile, le poids n'en devant pas être supporté à bras d'homme.

Dans cette position des coquilles, le mandrin étant serré à un diamètre inférieur à celui du tuyau et ayant sa tête près du ciel

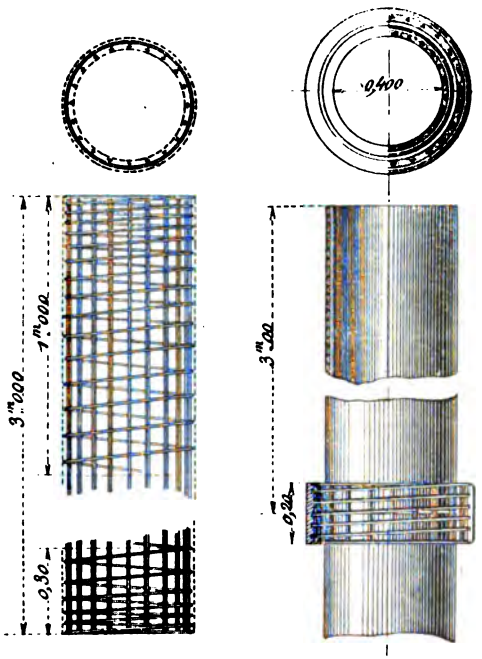


Fig. 1019 et 1020.

du pylone, et son axe à l'aplomb du trou d'une traverse, on procède comme suit aux opérations du moulage.

Un cercle en fer en forme de ⊓, reproduisant en plan la couronne du tuyau, est centré autour du trou de la traverse suivant une circonférence tracée d'avance.

Une ossature est posée sur ce cercle et maintenue dans la position verticale, pendant que le mandrin, serré à un diamètre inférieur à celui du tuyau, descend sur le sol où son axe pénètre par le trou de la traverse.

Le bord inférieur des tôles du mandrin repose à ce moment

sur la traverse de la voie, ainsi que sur un mince dallage en arasement. On ouvre alors le mandrin au diamètre de l'intérieur du tuyau, limité, à la base, par la face interne du cercle en fer, et il est calibré au sommet, par un autre cercle en fer plat, formant la retombée du cône distributeur qui le recouvre. L'ossature est centrée autour du mandrin et maintenue au besoin par quelques cales en menu gravier.

Les coquilles sont décrochées du plancher ; on les applique contre l'extérieur du fer en forme de ⌐ qui détermine l'épaisseur du tuyau à la base, et trois vis de pression remplissent le même but au sommet. Des verrous serrent à bloc les rives verticales des coquilles, et l'entonnoir est mis en place.

Pendant ces diverses manœuvres, les matériaux, tout dosés, ont été montés sur le plancher, le gâchage a été fait et, dès la pose de l'entonnoir, la coulée commence. Elle est terminée en quelques minutes. La prise ne demande pas plus de temps. Avant qu'elle soit terminée, on enlève l'entonnoir et le cône distributeur, on détache la masselotte en lissant à la truelle la couronne supérieure du tuyau, puis le mandrin est desserré et élevé au ciel du pylone.

Presque aussitôt après, les coquilles sont desserrées, ouvertes en grand et accrochées de nouveau au bord de l'échancrure de la plate-forme.

Deux leviers à cliquet, agissant sur des roues appliquées aux deux premiers galets du chariot, permettent alors de faire avancer celui-ci ; on lui fait occuper une nouvelle position, l'axe du mandrin dans la verticale passant par le trou d'une autre traverse, et les mêmes opérations se continuent ainsi jusqu'au moment où les tuyaux coulés debout sont près de fermer le cercle. »

L'avantage du sidéro-ciment est de donner des constructions économiques, résistantes, d'une étanchéité parfaite et d'une bonne conservation. Les réservoirs de ces conduites libres ou sous pression en sont les principales applications ; mais on peut en constituer des égouts : cuves à liquides, aqueducs, passerelles, revêtements étanches, etc.

Constructions diverses et rurales

Salles de spectacle. — Pour que les spectateurs ne soient pas gênés, il faut pour chacun un espace de $0^m,50$ de large et $0^m,75$ de long, c'est-à-dire que la distance d'axe en axe de 2 banquettes consécutives doit être de $0^m,75$.

Pour que tous les spectateurs puissent bien voir la scène, le

parterre doit s'élever de $0^m,10$ à $0^m,13$ par banquette ; pour les galeries, une droite s'appuyant sur les arêtes des banquettes doit rencontrer l'arête de l'avant-scène, ou passer au dessous, si possible.

La largeur des couloirs doit être de 2 mètres, elle va à 3 mètres et plus, quand chaque galerie contient un grand nombre de spectateurs et qu'il n'y a que deux escaliers pour descendre.

Écuries. — Il faut par cheval de 8 à 9 mètres carrés, soit $1^m,75$ de largeur sur 5 mètres de long et 4 mètres de haut, en tout 35 mètres cubes, lesquels devront être renouvelés une fois par heure. Pour chevaux d'attelage on adopte les écuries communes

Fig. 1021. — Écurie longitudinale simple.
t, lit du valet de l'écurie ; — *p*, *p*, *p*, potences pour suspendre les harnais.

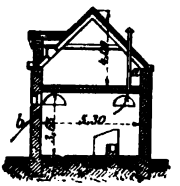


Fig. 1022. — Écurie longitudinale simple.
Coupe transversale.

à plusieurs animaux ; pour élevage et dressage on préfère les écuries séparées.

On doit placer du côté du midi les principales portes et fenêtres.

Le Génie militaire n'accorde que $1^m,45$ de large pour chaque cheval; mais des auteurs réclament 2 mètres. Le cheval demande en longueur $2^m,50$, auxquels on ajoute 1 mètre pour la mangeoire et l'espace pour recul, et $1^m,50$ à 3 mètres pour passage derrière le cheval.

E. Bosc conseille, comme hauteur, de $3^m,40$ à 4 mètres. Pour un seul rang de chevaux il faut une largeur de $4^m,30$; pour 2 rangs avec passage le long de chaque mur, $8^m,60$; pour 2 rangs, avec un seul passage entre les 2 rangs, $7^m,70$.

Séparations. — On emploie un *barrage*, barre ronde en bois de 7 à 8 centimètres de diamètre (éviter les barres à vive arête) et $2^m,25$ à $2^m,30$ de long ; on la fixe d'un côté à la mangeoire par un crochet, et, de l'autre, on la soutient par une corde (en chanvre ou en fil de fer galvanisé) ou une chaîne en fer fixée à une solive ou à un pilier.

Souvent les chevaux enjambent la barre et se blessent.

Pour obvier à cet inconvénient, on se sert de la *sauterelle*,

attache qui fait tomber la barre dès que le cheval pèse dessus (*fig.* 1023).

Une séparation très usitée est la *stalle volante* ou *bat-flancs*.

On emploie aussi des *stalles fixes*, en maçonnerie, en briques ou en bois, de $1^m,75$ de large sur $2^m,50$ de long.

Pour les écuries on emploie la pierre, la brique, le pisé, le pan de bois avec bauge torchis ou plâtre ; la couverture se fait en ardoises, en tuiles, etc., doublée de paille à l'intérieur.

Les *portes* d'écuries ou d'étables, à 1 ou 2 vantaux, doivent mesurer $1^m,20$ à $1^m,50$ de large, $2^m,25$ à $2^m,85$ de haut. Dans ce dernier cas, la partie supérieure a une imposte vitrée. Ces portes, en chêne dans le Nord, en noyer dans le Midi, sont assemblées et réunies par des traverses et décharges sur le parement intérieur. On doit poser des portes mobiles à claire-voie. Les ferrures doivent être encastrées dans le bois; les boutons des loquets, loqueteaux, verrous, sont remplacés par des anneaux pendants. Quand on est forcé de faire des portes étroites, on place dans le tableau des rouleaux (pour empêcher les chevaux de se blesser) de $0^m,90$ de long, $0^m,08$ à $0^m,10$ de diamètre. Les seuils des portes doivent être à $0^m,08$ ou $0^m,10$ au-dessus du sol extérieur, les angles arrondis et la surface cannelée ou brettelée.

Les écuries sont éclairées par des *fenêtres* placées à $1^m,70$ au-dessus du sol et le moins possible en face des chevaux. Le meilleur système consiste en double châssis (bois ou fer); le plus petit, intérieur, assujetti au plus grand, par 2 ou 3 charnières fixées dans le bas, s'ouvre horizontalement par le haut au moyen d'un cordon de tirage qui glisse dans des poulies. La partie supérieure du châssis ouvrant porte, dans son milieu, un lingot de plomb qui, par son poids, tend à entraîner le châssis à l'intérieur ; un cordon de tirage ou chaîne en fer sert à l'ouvrir plus ou moins ou à le fermer. On emploie encore des fenêtres demi-circulaires de 1 mètre de diamètre s'ouvrant verticalement au moyen d'un loqueteau à ressort, manœuvré par une corde.

On fait des fenêtres d'écurie à coulisse dites à *guillotine*.

Souvent on pratique de larges cheminées ou trémies dans l'axe du bâtiment, prenant jour direct sur toits. S'il existe des fenils au dessus, ces cheminées les traversent; elles sont maçonnées et couvertes d'un châssis à tabatière manœuvré à l'aide de cordes ; ces cheminées servent à la ventilation.

Pour éclairer la nuit, on peut, comme le dit E. Bosc, pratiquer dans les murs des ouvertures carrées de $0^m,40$ de côté, évasées à l'intérieur et fermées par des châssis vitrés ; celui du dehors sert pour l'allumage d'une lanterne placée dans cette double fenêtre.

Ventilation. — L'air rejeté par le cheval s'expulse par des ouvertures ou *barbacanes*, au bas des murs, expulsion due à la pression de l'air extérieur qu'amènent des cheminées les tuyaux

de ventilation. Suivant la température, le mouvement se renverse ; les barbacanes aspirent alors l'air extérieur, et l'air vicié s'échappe par les cheminées. Celles-ci ont $0^m,30$ à $0^m,90$ de côté ; l'ouverture inférieure peut être fermée par un volet à coulisse ou registre.

On fait aussi usage de ventilateurs ayant une ouverture intérieure variant de $0^m,17$ pour 5 chevaux, à $0^m,33$ pour 21 chevaux. La forme en coupe peut être carrée pour les ventilateurs en bois, circulaire pour celle en tôle ou zinc ; ce sont des conduits dont l'orifice supérieur peut être terminé carrément ou en cône ou en angle (*fig.* 1023). Ces ventilateurs doivent être préservés contre le refroidissement par une couche d'argile mélangée de hachis de paille, de 6 à 8 centimètres d'épaisseur.

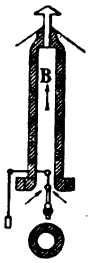


Fig. 1023.

Un chapeau tournant placé au sommet garantit du vent et de la pluie. Le ventilateur ne doit pas dépasser le toit de plus de $0^m,50$. On règle l'aération au moyen d'une soupape circulaire en bois mue par une poulie. Il faut installer un ventilateur de chaque côté de l'écurie. Un ventilateur de $0^m,16$ d'ouverture convient pour 16 mètres de longueur d'écurie.

La *température* doit varier entre 14° et 18° pour chevaux de service ; 17° à 21° pour chevaux d'entraînement ; 20° à 25° pour poulinières sur le point de mettre bas.

Le sol, plus élevé que le sol environnant, doit être imperméable. Rejeter le pavement de glaise battue. Pente de $0^m,01$ à $0^m,015$ par mètre, afin que les urines puissent s'écouler vers les rigoles qui les rejettent au dehors. Pavages en briques de Bourgogne, cailloux étêtés, grès, granit, porphyre, briques de fer, noyés dans béton, ciment ou mortier hydraulique. On a obtenu de bons résultats en formant ce sol d'un massif de $0^m,15$ en moellons ordinaires, bruts, recouverts de mortier de ciment de Vassy.

On commence par modeler le sol suivant les pentes, contrepentes et rigoles qu'on veut avoir ; puis, après l'avoir battu et humecté, on y répand du béton qu'on bat humide ; avant qu'il ne soit pris, on y imprime en creux des rainures.

Un bon pavage est en bois de sapin du Nord ou de chêne. Ces pavés, de $0^m,30$ à $0^m,40$ de long sur $0^m,12$ d'épaisseur, posés sur champ, forment une couche élastique de longue durée.

En Allemagne et en Autriche, le sol de l'écurie est formé de madriers transversaux en pente, posés sur poutrelles assemblées dans des enchevêtrures. En dessous du pont d'écurie est un pavé à surface concave, pierre ou brique, qui reçoit les urines pour les conduire à travers une petite ouverture dans un canal (recouvert en panneaux de bois ou en dalles), d'où elles sont conduites dans le trou à fumier.

Les poutrelles sont posées sur murs de refend de $0^m,35$, contre lesquels sont adossées de petites voûtes renversées. Au point de réunion des poutrelles avec les enchevêtrures de face, formées de 2 pièces de charpente, sont 2 agrafes biaises pour les lier ensemble. Au-dessus de ces enchevêtrures s'élèvent des poteaux cylindriques en chêne ou mélèze, de $0^m,20$ à $0^m,22$ de diamètre et de $2^m,20$ à $2^m,50$ de haut, enfoncés de 1 mètre dans le sol.

A l'extrémité supérieure des poutrelles, sur l'axe des cloisons, sont des poteaux de $0^m,15$ à $0^m,18$ d'équarrissage [1], reliés au mur de fond par des traverses et aux poteaux au moyen d'équerres.

La *mangeoire*, en bois dur, pierre ou fonte, se pose sur ces traverses ; elle a son arête supérieure à $1^m,10$ au-dessus du sol ; sa profondeur est de $0^m,25$, sa largeur de $0^m,30$ à $0^m,35$ en haut et $0^m,20$ à $0^m,25$ au fond.

A la mangeoire sont fixés des anneaux en fer dans lesquels glisse la longe du licol ; il vaut mieux fixer à la mangeoire une barre de fer scellée dans le sol ; un gros anneau portant une demi-longe monte et descend le long de cette barre, suivant les mouvements du cheval, ou bien on emploie un petit madrier en chêne, avec rainure, derrière laquelle on place un billot en bois soutenu par l'extrémité de la longe.

Le *râtelier* a son arête inférieure à $1^m,70$ du sol, et son arête supérieure à $2^m,20$. Son inclinaison est telle, qu'avec ces hauteurs sa largeur est de $0^m,65$. Ses fuseaux sont écartés de $0^m,08$ à $0^m,13$.

La partie du mur comprise entre le dessus de la mangeoire et le dessous du râtelier est revêtue de bois, de planches posées horizontalement sur champ, ou en dalles.

L'espace dans la largeur de la stalle, du sol à la mangeoire, est fermé par des madriers.

Plancher supérieur. — Comme souvent le grenier à fourrages est au-dessus des écuries, pour empêcher les émanations, le meilleur plancher est en petites voûtes en briques. Contre chaque face des 2 chevêtres, on cloue une petite chanlatte maintenant les extrémités de la voûte.

Quand on emploie des solives en fer, on peut, en se servant de chaux ou de ciment, faire les voûtes de moins de 3 mètres de large, avec une seule brique posée à plat et butant l'une contre l'autre. On maintient l'écartement des voûtes avec des tirants en fer.

Il faut avoir une seule trappe à l'extrémité de l'écurie et l'isoler par une cloison.

Porcheries. — Elles doivent être, autant que possible, expo-

[1] Ces poteaux sont maintenus par une sablière ou chapeau arrondi au sommet et garnis de fer-blanc ou de tôle de zinc.

sées au midi. Les porcs sont rarement réunis ; on les place dans de petites loges séparées ou boxes, tects à porcs, bauges à cochon ou souilles.

Dimensions : pour un porc, 1m,60 à 2 mètres sur 2 à 3, soit 3m2,20 à 6 mètres carrés ; pour une truie donnant 10 à 12 petits par portée, 3 mètres sur 4, soit 12 mètres carrés; pour les porcelets qu'on réunit plusieurs dans une loge, 1m,50 par tête.

Chaque loge doit avoir une petite cour de même largeur. Les tects à porcs sont couverts, mais rarement plafonnés, surtout dans les pays chauds ; dans ce cas, la partie basse de la construction ne mesure que 1m,80 au-dessus du sol. Quand le tect est plafonné, on établit un faux plancher à 1m,90 ou 2 mètres.

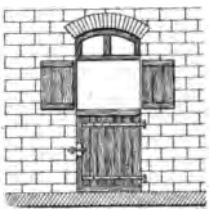


Fig. 1024.

Les loges sont fermées par des portes. La porte coupée (*fig.* 1024) permet d'aérer l'intérieur; la porte double donne accès à 2 loges contiguës séparées par une cloison qui s'élève à 1m,10 ou 1m,28 dans l'intérieur de la loge. Un poteau placé au milieu de la baie sert de battement pour chaque porte et de pilier ou pied-droit pour soutenir dans son milieu le linteau de la grande baie. Portes en planches assemblées à rainures et languettes; quand elles ne sont pas coupées, elles doivent porter des écharpes extérieurement.

Pavage en porphyre, grès, brique posée sur champ et en épi. On emploie aussi le béton dressé en forme de cuvette, au centre de laquelle on pratique un trou pourvu d'une grille et qui sert à écouler le purin et les eaux de lavage, qu'une canalisation conduit dans la fosse aux engrais.

Pour les porcheries à 4 ou 5 porcs, on utilise souvent un mur libre, sur lequel on installe un appentis; les côtés sont fermés par maçonnerie ou planches ; dans ce cas, on ménage, le long du mur, un couloir par lequel on fait le service au moyen d'auges (donnant sur cette galerie), fixes ou mobiles, en pierre, fonte ou bois. Quand on supprime le couloir, les auges sont sur le mur de face et le service se fait en plein air.

On fait des porcheries doubles en laissant un passage au milieu.

Les *auges* doivent avoir, pour chaque porc, une capacité de 11 à 12 litres, une profondeur de 15 à 18 centimètres, une largeur de 0m,30 à 0m,33. L'auge à cylindre en fonte Peltier rend de grands services.

Étables ou vacheries. — Une vache ou un bœuf d'engrais fort exige 1m,60 en largeur, 2m,50 à 3m,20 en long, y compris l'auge

et le râtelier ; un bœuf de trait, $1^m,35$ en largeur sur $2^m,50$ à 3 mètres en long. La hauteur doit être de 3 mètres à $3^m,50$.

D. Ramée indique, mangeoire comprise, $4^m,75$; pour 2 rangées, têtes tournées au mur, $8^m,25$ à $8^m,60$; pour 2 rangées, tête tournée vers un passage commun, $10^m,15$ à $11^m,40$. Dans le premier cas, le passage sera de $1^m,60$ de largeur; dans le second, le passage à fourrages sera de $1^m,90$ à $3^m,20$, et les passages latéraux adossés au mur, $0^m,95$ à $1^m,30$.

D'après M. Loiset, il faut :

	m^3		m^3
Pour un bœuf.....	31,50	Pour un veau.....	4,50
— un taureau.....	29,00	— un mouton.....	3,00
— une vache.....	22,50	— un porc.....	5,50
— une génisse.....	17,00		

En se conformant à ces chiffres, il faut, pour une étable de 10 vaches, 12 mètres de long ($1^m,20$ par vache), 5 mètres de large et $3^m,75$ de haut, ce qui donne 225 mètres cubes.

Des rigoles, derrière les animaux, donnent un écoulement aux urines. Le *sol*, imperméable, est incliné de $0^m,02$ par mètre vers ces rigoles, et élevé de $0^m,20$ au-dessus du sol extérieur. Pavés larges, grès, dalles, briques dures, planches, couche de béton, ciment hydraulique ou asphalte.

Les étables doivent être, de préférence, exposées au levant ou au sud.

Les solives d'enchevêtrure doivent être supportées par des poteaux ou colonnes en fonte. On voûte les étables avec poteries creuses. Pour supporter une voûte, il faut des murs de $0^m,80$ d'épaisseur. Les baies se pratiquent en contre-bas de la naissance de la voûte ou du plafond en charpente, qui donneront aussi passage à des ventilateurs s'élevant de l'étable jusqu'au faîtage.

Portes d'entrée $1^m,10$ à $1^m,60$ de large, $2^m,20$ à $3^m,15$ de haut.

Une ordonnance du 27 février 1838 prescrit que « le *plancher* haut des étables devra être plafonné ou au moins hourdé plein, au niveau des solives, de manière à présenter une surface unie », et que « les *dépôts de fourrages* seront séparés des étables par un mur en maçonnerie s'ils sont placés à côté, et par un plancher recouvert d'une aire en plâtre ou d'un carrelage, s'ils sont au dessus ».

On supprime généralement les râteliers; lorsqu'on les maintient, ils doivent être verticaux. Les auges ou mangeoires ne doivent pas être à plus de $0^m,50$ à $0^m,55$ au-dessus du sol. Pour les petits animaux, on les place à $0^m,40$ ou $0^m,45$ de haut. La largeur intérieure des mangeoires est de $0^m,32$ à $0^m,40$, et leur profondeur de $0^m,20$ à $0^m,25$. On les fait en pierre, bois ou fonte.

Séparations. — Dans les bouveries, les vaches sont souvent

côte à côte sans séparations; le taureau est à part dans un boxe. Il est certaines races pour lesquelles on sépare les animaux à l'aide de cloisons fixes formant stalles, moins longues que celles pour écuries.

Aérations. — On perce dans les murs, à la hauteur et en face de la tête des animaux, des créneaux de 0m,11 de côté amenant l'air extérieur; afin d'éviter que l'air entre trop vivement, on les détourne dans l'épaisseur du mur (*fig.* 1025), et on les oblitère l'hiver; ce système insuffisant expose les animaux aux rhumes. On fait des canaux d'aération analogues, garnis de treillis, placés à la hauteur des plafonds; mais ils produisent une aération horizontale insuffisante; le meilleur système est celui des cheminées en bois, terre cuite, tôle ou zinc prenant naissance au plafond, sortant hors toit et surmontées de ventilateurs.

Fig. 1025.

Pour ventiler, il faut que les châssis s'ouvrent à bascule, et que la porte soit coupée en deux dans sa hauteur. Les châssis des étables ne sont que des impostes de 1 mètre à 1m,40 de large sur 0m,50 à 0m,70 de haut.

D'après M. D. Nicole, une étable avec magasin à nourriture, fournil de manutention, grenier aux foins pour 15 vaches, de 16m,50 sur 5m,30, mesurant, avec ses dépendances, 28m,68 sur 6 mètres, soit 172 mètres carrés, revient à 50 francs le mètre superficiel, soit à 8.600 francs.

Le plancher du grenier est formé de poutrelles en fer à I de 32 centimètres de haut, recevant de petites voûtes de 1m,10 de large, recouvertes d'un pavage de briques à plat. La charpente se compose de petites fermes à l'anglaise en demi-battants.

Bergeries. — La façade doit être tournée vers le sud. Sol élevé au-dessus des terrains environnants de 0m,30. Murs en brique, pierre, pisé, torchis ou bois; dans la partie inférieure, matériaux résistants, pierre, briques bien cuites, béton hydraulique, jusqu'à 0m,30 au-dessus du fumier. Profondeur des bergeries : de 9m,50 à 12m,50.

Les bergeries fermées sous plafond, ayant généralement au dessus un grenier à fourrages, doivent être munies d'un ventilateur de 0m,17 d'ouverture par 20 mètres carrés. Pour cheminées d'appel on emploie un tuyau cylindrique en tôle ou poterie, ou une caisse de bois triangulaire.

Pour régler l'entrée de l'air, on emploie une persienne à cadre dormant et à lames mobiles. Fenêtres, 1 mètre de large, 0m,60 à 0m,90 de haut, placées à 2 mètres du sol.

Portes extérieures s'ouvrant en dehors; celles de plus de

1 mètre de large (qui ont 2 mètres de haut) sont à 2 vantaux. Les meilleures sont suspendues sur galets.

Les portes intérieures doivent pouvoir s'élever à volonté; on les fait à claire-voie, suspendues par leurs traverses à une tringle en fer boulonnée sur le cadre de la cloison qu'elle dépasse de $0^m,75$; on peut ainsi les soulever facilement.

Le meilleur système est celui où l'on place de chaque côté de la porte 2 montants carrés en bois, allant du sol au plafond et dans lesquels, sur le côté regardant la porte, on a creusé une rainure; le châssis de la porte, plus étroit que l'intervalle entre les 2 montants, porte à chaque angle du haut et du bas une roulette entrant dans la rainure des montants, ce qui permet de monter ou d'abaisser la porte qui est maintenue par les roulettes glissant dans les rainures. La porte reste dans la position où on la met, par un contre-poids d'équilibre.

Toitures du grenier en tuiles légères.

Les moutons, dont 1/4 ou 1/5 en brebis portières, exigent $0^m,35$ à $0^m,41$ de longueur de râtelier chacun, et occupent 1 mètre carré. Les agneaux exigent $0^m,24$ à $0^m,30$ de râtelier. Il serait convenable qu'il y eût, auprès de la bergerie, une petite cour ou un parc.

Un magasin de $4^m,00 \times 12$ à 13 mètres et $4^m,50$ de haut suffit au service des fourrages et racines, pour 500 à 800 bêtes, et pendant la tonte pour cette opération.

Hauteur d'une bergerie, $2^m,60$ à 4 mètres.

La *crèche*, contenant la nourriture des chevaux, bœufs ou moutons (*fig.* 1026), se compose d'un râtelier et d'une petite auge ou mangeoire au dessous. Souvent on se contente de garnir les

Fig. 1026.

Fig. 1027.

murs de petits râteliers sous lesquels on met des auges portatives. Les barreaux des râteliers ont $0^m,13$ d'écartement. Les crèches sont fixes ou mobiles, simples ou doubles. Les crèches simples s'adossent aux murs. Les râteliers ont $0^m,55$ à $0^m,60$ de haut et se placent à $0^m,20$ au-dessus de l'auge, en bois ou en pierre ($0^m,15$ à $0^m,16$ de profondeur, avec une ouverture de $0^m,30$ à sa partie supérieure).

Un *cornadis* est une mangeoire qui oblige le ruminant à passer le cou à travers une cloison pleine (*fig.* 1027) ou ajourée ; la mangeoire se trouve au-dessous de cette cloison.

Laiterie et colombier. — La température de la laiterie doit être de 15°, été comme hiver. Le colombier est une tour ronde ou polygonale. Comme le pigeonnier ne descend pas jusqu'au sol, on dispose quelquefois la laiterie, qu'il faut voûter, au rez-de-chaussée. Éviter cette disposition, l'odeur du colombier pouvant arriver à la laiterie.

Les colombiers se placent au centre de la cour des fermes. Le colombier *à pied* se fait en maçonnerie; les *volets*, ou *fuies*, portent sur piliers en pierres ou poutres droites. L'intérieur est garni de nids ou *boulins*.

Les colombiers doivent être blanchis à la chaux. Pour bien ventiler, on réserve deux ouvertures : l'une au midi, au niveau du sol, fermée par un volet dans lequel on pratique un trou de la grosseur d'un pigeon ; l'autre au levant, au-dessous du plafond; souvent on pratique dans les combles un évent.

Les **poulaillers**, ou *pouleries*, séparés ou adossés à une ferme doivent être exposés au sud ou au sud-est. Courette ou sol graveleux ; dans un angle, on place un bassin plat alimenté, si possible, par eau courante.

La pièce servant d'abri aux poules, coqs, etc., est pourvue de juchoirs ou perchoirs, de nids, d'auges ou mangeoires, d'augettes pour le grain et d'épinettes. Le poulailler doit être, autant que possible, au-dessus d'un sous-sol.

Porte d'entrée, s'ouvrant avec galets, 1 mètre de large sur $1^m,80$ de haut; elle a, dans le bas, de petites ouvertures (pour le passage d'une poule) qu'on ferme à l'aide d'une planchette glissant dans des coulisses en bois.

Les fenêtres, plus larges que hautes, doivent être garnies de persiennes à lames mobiles.

La toiture est en chaume. Aire en terre battue recouverte de sable fin sec. Murs crépis à la chaux.

D'excellents perchoirs sont composés de bancs sur lesquels on fixe à $0^m,40$ d'élévation des barres transversales. Les traverses qui les supportent sont scellées dans le mur, mais munies, à $0^m,20$ du mur, de charnières permettant de relever d'une seule pièce le perchoir et de venir l'adosser contre le mur.

Les pondoirs sont établis contre les deux murs de face, par étages; ils se composent d'une auge de planches appliquées contre le mur sur des bras en fer; à l'extérieur des auges, on fait, de $0^m,25$ en $0^m,25$, des séparations en bois dans lesquelles les poules viennent pondre.

Granges. — Exposition nord-est de préférence. Établir, à droite et à gauche des passages, un plancher saillant élevé pour y décharger les gerbes de la voiture. Construire un grenier partiel pour effectuer sans déplacement le dépôt des grains après battage.

On donne aux portes à 2 vantaux $3^m,30$ à 4 mètres de large sur

4 mètres à 7 mètres de haut. Il conviendrait qu'il y eût 2 portes, l'une pour l'entrée des voitures, et l'autre sur le côté opposé, pour leur sortie.

Les granges ont de 8 à 15 mètres de large; la hauteur sous l'entrait ne doit pas dépasser 8 mètres.

Pour une récolte annuelle de 30.000 gerbes de 6 kilogr. chacune ou 180.000 kilogr. de divers grains, il faut 2 aires à battre, de chacune 12 mètres de long sur $4^m,50$ de haut et autant de large.

En admettant 100 kilogr. par mètre cube de gerbes, le rendement par hectare est de 100 mètres cubes; c'est la capacité adoptée pour granges. Pour un domaine de 30 à 33 hectares, ayant 10 hectares cultivés en blé, la capacité de la grange à blé sera de 1.000 mètres cubes ($16^m,00 \times 9^m,00$ et $7^m,80$ de haut), non compris l'emplacement du battage, qui aura 6 mètres de long, $4^m,25$ de large et 4 mètres de haut, soit 100 mètres cubes.

Fenils. — Le foin pèse de 60 à 90 kilogr. le mètre cube: la paille, de 16 à 18 0/0 de moins.

Dans les magasins à fourrages de l'État on adopte les emplacements suivants :

1.000 quintaux métriques (100.000 kilogr.) de foin en bottes exigent 860 mètres cubes.

La même quantité en magasins (en vrac), 460 mètres cubes.

La même quantité en balles ficelées, comprimées à la presse hydraulique, 143 mètres cubes.

Il faut doubler ces chiffres pour avoir la capacité totale des fenils, car il faut la place pour la manipulation des fourrages et on n'élève pas ceux-ci au-dessus des entraits des fermes.

Boulangeries et **fours.** — Voir, p. 721 : *Ordonnance de 1897 sur les incendies.*

Les **fourneaux potagers** ont de $0^m,76$ à $0^m,85$ de large et autant de haut.

Les *fours de manutention* ont de $3^m,25$ à $4^m,20$ de diamètre.

Les **fours à cuire le pain** ont de $0^m,80$ à $1^m,62$ de diamètre.

L'âtre du four s'établit à $0^m,85$ ou $0^m,95$ au-dessus du sol. La voûte ou chapelle s'élève à $0^m,35$ ou $0^m,45$ au-dessus de l'âtre.

Les fours de boulanger ou de pâtissier se construisent à hauteur d'appui, sur plan elliptique ou circulaire. Ils sont recouverts d'une voûte de briques ou de tuileaux nommée *chapelle*, ou *dôme*. L'âtre, surface horizontale sur laquelle on fait le feu, est pavé de grands carreaux de terre. Au devant, se trouve l'ouverture du four, ou *bouche*, précédée d'une tablette saillante en pierre, ou *autel*. Les conduites d'air, quand on en établit, s'appellent *ouras*.

Bains. — A l'établissement des bains, rue Saint-Sauveur, à Paris, les cabines ont $3^m,15$ de long, $1^m,56$ de large, $3^m,30$ de haut au rez-de-chaussée, $2^m,16$ au premier, $2^m,28$ au deuxième. Les

corridors, dans lesquels ouvrent toutes les cabines, ont $2^m,60$ de large et une hauteur égale à celle des cabines.

Boutiques. — La hauteur maximum des devantures de boutiques a été fixée à 5 mètres par le préfet de police (15 février 1860).

La saillie des devantures de boutique ne peut dépasser $0^m,16$, tous ornements compris.

Constructions légères. — M. V. Poitrineau construit des maisons provisoires carrées en *bois* de 6 mètres de côté, ayant rez-de-chaussée (salon, 2 chambres, cuisine) et grenier. Plancher parqueté en sapin.

Murs constitués par 2 épaisseurs de planches de sapin de $0^m,027$, que l'on peut isoler par couche de sable. Pour long séjour, on cloisonne les façades en briques ou carreaux de plâtre. La toiture est à 2 égouts, en planches (recouvertes de papier ou de carton goudronné) ou en zinc. Une maison de ce genre revient à 3.900 francs.

Des constructions analogues à 4 compartiments peuvent être placées sur vérins. Les poteaux sont enchâssés dans des sabots en fonte placés sur la tête de vérins à patins; ces vérins permettent d'élever chaque compartiment pour passer des traverses dessous, afin de les hisser sur chariot. Grande solidité en fixant au sol les patins des vérins par des fiches en fer de 1 mètre de long. Ces constructions peuvent être démontées en 2 heures.

D'autres constructions mobiles peuvent reposer sur roues et devenir des *compartiments-voitures* coûtant de 2.800 à 3.000 francs par compartiment ; il en faut 4 pour une construction de 12 mètres $\times$ 6 mètres de surface à rez-de-chaussée et grenier. Chaque compartiment démontable sur vérin ne coûte que 1.800 à 2.000 francs.

M. V. Poitrineau construit des *écuries* en bois, mobiles, dont le plancher est à $0^m,30$ du sol. Celles pour un cheval ont $7^m,00 \times 4$ mètres de surface, comprenant salle d'écurie, remise, sellerie et chambre à coucher (de $2^m,20$ de large), avec 3 mètres sous l'entrait de la ferme, plus $2^m,40$ jusqu'au faîtage. Ces écuries, valant de 1.500 à 2.000 francs, se recouvrent en carton bitumé, bois brut, tuiles ou zinc. On les exécute en 25 jours. Montage en 2 jours de 3 hommes ; démontage en 1 jour.

Constructions démontables. — La Compagnie des Constructions démontables et hygiéniques (système Espitallier) fabrique des *hangars* métalliques se montant en quelques heures. La largeur du hangar simple (*fig.* 1028), entre colonnes, est de 5 à 6 mètres ; la largeur, compris auvents, 8 à 11 mètres ; la hauteur du montant, 3 à 4 mètres. Le mètre carré couvert pèse 13 kilogr. et vaut depuis 11 francs,

L'ossature est en tubes de fer légers; couverture en tôle galvanisée.

Longerons (formés de 2 cornières écartées par fourrures en bois) fixés sur montants et supportant plancher et muraille.

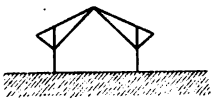


Fig. 1028.

Plancher de panneaux fixés sur des cadres. On peut remplacer ce plancher par dalles en aggloméré sur armature métallique. Muraille de 2 parois (entre elles un matelas d'air); chaque paroi formée de panneaux en aggloméré mince, de 1 mètre de large pour une hauteur de 2m,40 à 3 mètres, s'engageant dans rainures de montants légers en bois ou en profilés métalliques. Plafond composé de panneaux d'aggloméré ou de toile cirée, se pose à 2 pentes, le pied reposant sur paroi intérieure de muraille, et les 2 panneaux réunis à charnière au droit du faîtage.

Pour les *pays chauds*, le plancher doit être surélevé de 1 mètre, les murailles protégées par véranda de 2 mètres à 2m,25 de large. Une construction de 5m,00 × 7 mètres comprenant 2 chambres, plus véranda de 2 mètres sur une face, avec auvents de 1m,50 sur les longs côtés, pèse 3.500 kilogr. et vaut depuis 3,000 francs.

CHAPITRE XV

RÈGLEMENTS ET DOCUMENTS DIVERS

Série des prix. — Le règlement des travaux se fait soit à forfait et d'après un devis descriptif et estimatif fait *a priori* par l'architecte et adopté par les parties contractantes; soit à la série des prix et d'après un métré et une constatation par *attachements*[1] des fournitures et des travaux cachés; de ce métré, résultent les mémoires descriptifs et estimatifs qui sont soumis à la vérification des architectes.

La base des devis et des mémoires est la série des prix qui contient l'estimation relative des travaux et dont les prix peuvent subir, à la convenance des contractants, une réduction d'un tant pour 100 sur l'ensemble des prix se rapportant à une même espèce de travaux.

[1] Les attachements sont *écrits* ou *figurés*. Les attachements figurés doivent relater la nature des matériaux, leurs qualités, dimensions, emploi, place, etc. Les dessins seront au trait, avec teintes plates conventionnelles.

Dans la *Série officielle des travaux de la Ville de Paris* (dernière parue en 1882), les *prix élémentaires* comprennent les *déboursés* faits sur les divers éléments des travaux ; le prix de la journée, des heures et des déplacements des ouvriers ; le prix des matériaux, non façonnés, apportés à pied d'œuvre, majorés de 1 0/0 sur les cours pour les doubles transports, pour serrurerie, paratonnerres et les sonneries.

Les *prix composés* comprennent : les déboursés pour main-d'œuvre et fournitures; les faux frais appliqués à la main-d'œuvre seulement; le bénéfice appliqué aux fournitures, main-d'œuvre et faux frais.

	Faux frais	Bénéfice
Terrasse	5 0/0	10 0/0
Maçonnerie	15 0/0	10 0/0
Charpente	15 0/0	10 0/0
Couverture et plomberie	12 0/0	10 0/0
Menuiserie	15 0/0	10 0/0
Serrurerie, quincaillerie	20 0/0	10 0/0
Paratonnerres, sonneries	20 0/0	10 0/0
Fumisterie	20 0/0	10 0/0
Marbrerie	15 0/0	10 0/0
Peinture, vitrerie	15 0/0	10 0/0
Pavage	10 0/0	10 0/0

La série de prix de la *Société centrale des Architectes* (dernière parue en 1897) est celle que les architectes emploient pour les travaux particuliers.

Devis. — Un devis se divise en : 1° *devis descriptif*, exposé détaillé des ouvrages, forme, dimension et qualités des matériaux, mode d'emploi ; 2° *devis estimatif*, donnant l'évaluation de la dépense.

Honoraires des architectes. — *Avis du Conseil des bâtiments civils du 12 pluviôse an VIII* (confirmé par l'ordonnance du 10 octobre 1841).

Art. 1er. — Estime qu'à Paris, pour les travaux ordinaires [1], il est dû aux architectes pour la confection des plans et des projets dont ils sont chargés :

Un centime et demi par franc, ci . . . . . 1 c. 1/2

Art. 2. — Pour la conduite des ouvrages. 1 1/2

Art. 3. — Pour la vérification et règlement des mémoires. 2 »

Art. 4. — Ensemble 5 centimes par franc du montant des mémoires en règlement . . . . . 5 »

Art. 5. — Quant à la rédaction des devis d'ouvrages qui ne seraient pas exécutés, le Conseil pense qu'il doit être payé 1 centime par franc sur cet objet. . . . . 1 »

Art. 6. — Il estime, en outre, qu'il leur est dû le double de cette

[1] C'est-à-dire dépassant 5 000 francs.

fixation pour les mêmes travaux, lorsqu'ils sont projetés et exécutés à plus de 5 kilomètres de distance des lieux de leur résidence, et les frais de voyage sont à leur charge.

Observant que, lorsque les constructions exigent, comme cela arrive quelquefois, des dessins et des modèles qui leur occasionnent des dépenses extraordinaires, ils doivent être estimés et payés séparément.

Avis de la direction. — Pour travaux d'architecture faits pour le *compte de particuliers*, au-dessous de 5.000 francs, il sera dû 7 0/0 pour plans, devis, conduites et travaux ; vérification et règlement desdits. De même que pour vérification et règlement de mémoires seuls, et dont le montant ne dépasse pas 5.000 francs, il sera dû 2 1/2 0/0 [1].

Pour tous travaux au-dessous de 400 francs, il sera dû 1 ou 2 vacations selon le cas, attendu qu'un architecte ou un vérificateur ne peuvent se déplacer, à moins d'une vacation fixée comme ci-dessous.

Dans les travaux exécutés pour le compte des *particuliers*, il est de toute équité que les honoraires soient payés à l'architecte après le règlement du mémoire et sur le chiffre brut de ce règlement, *avant* l'application du rabais qu'ont pu consentir les entrepreneurs.

Vacation et frais de voyage (décret du 16 février 1807). — Pour expertises près les tribunaux auxquelles peuvent être commis les architectes.

Pour chaque vacation de trois heures de tout architecte, expert ou artiste opérant dans le lieu de leur domicile ou dans la distance de 2 myriamètres, il est dû :

Dans le département de la Seine.	8 francs
Dans les autres départements.	6 —

Au-delà de 2 myriamètres, il est alloué pour chaque myriamètre, à titre de frais de voyage et de nourriture, soit pour aller, soit pour revenir :

Aux architectes et artistes de Paris.....	6 fr.	»
A ceux des départements.....	4	50
Pour 4 vacations par jour sans déplacement :		
Aux architectes et artistes de Paris.....	32	»
A ceux des départements.....	24	»

S'il y a moins de 4 vacations, la réduction est proportionnelle.

Il est alloué aux experts 2 vacations : l'une pour la prestation du serment, l'autre pour le dépôt du rapport ; indépendamment de leurs frais de transport, s'ils sont domiciliés à plus de 2 myriamètres du lieu où siège le tribunal, il leur sera alloué 1/5 de leur journée de campagne, ce qui supprime le prix du voyage et de nourriture.

Etats de lieux. — Pour *états de lieux* régulièrement établis faits en

[1] Si l'architecte a fait et uniquement fourni les plans d'une construction, il lui est alloué 2,50 0/0 du prix d'évaluation des dépenses. S'il exécute les plans faits par un autre, il ne lui est dû encore que 2,50 0/0.

Les 5 0/0 et même les 7 0/0 peuvent être insuffisants si les travaux sont de peu d'importance ou exigent de longues et difficiles études, comme si l'on charge un architecte de dessiner un mobilier, des décorations, des objets d'art. Pour travaux qui ne demandent que peu d'étude, comme bâtiments d'usine, cités ouvrières ou travaux s'élevant à plusieurs millions, l'architecte peut les exécuter pour moins de 5 0/0.

circonstances ordinaires et sans déplacement, il est dû pour chaque rôle de 25 lignes à la page et compris la première expédition :

En cas de rédaction par un seul architecte	3 fr.	»
En cas de rédaction contradictoire et simultanée par deux architectes	4	»
Pour chaque expédition en plus par rôle	0	50
Pour tous états de lieux et estimation de matériel d'établissements agricoles ou industriels, des théâtres, des usines, etc., et, pour plans ou dessins y annexés, contre vérification, revision ou modification d'anciens états de lieux, par vacation après estimation	8	»

Les déplacements pour états de lieux (rédaction et vérification) donnent droit, en sus des prix du rôle ci-dessus mentionnés, à toute demande d'honoraires et de frais, conformément au tarif des expertises près les tribunaux, ci-dessus rapporté (Décision de la Société centrale des Architectes, du 2 juillet 1850).

Le prix d'un état de lieux, régulièrement établi, soit dans les circonstances ordinaires et sans déplacement, doit être payé pour chaque rôle, et compris les deux expéditions 3 50
Chaque expédition en sus payée 0 50

Honoraires des métreurs. — Pour métrés et expéditions de travaux de terrasse, maçonnerie, charpente et carrelage, 1 fr. 20 0/0, selon le montant en demande du mémoire, ou 72 francs pour 1.000.

Idem de couverture, peinture, menuiserie, serrurerie, fumisterie, à 1 fr. 50 0/0 ou 15 francs pour 1.000. Pour ces 5 parties, lorsque les travaux à métrer dépassent 10.000 francs, il se fait souvent une réduction à 12 francs du 1.000.

Plomberie de bâtiment, pour les eaux et le gaz, 2 fr. 0/0 ou 20 francs du 1.000. Lorsque la plomberie est métrée simultanément avec la couverture, souvent le prix d'honoraires est confondu comme à la couverture. Lorsqu'il y a métrage de plomberie seule, on portera le prix qui lui est appliqué.

Dans les départements où il se fait journellement de nombreux travaux à façon, il est d'usage de porter les honoraires à 2 0/0 du montant desdits travaux en demande; et il y a lieu de les estimer en vacations toutes les fois que le montant ne s'élève pas au-dessus de 100 francs.

Responsabilité de l'architecte. — 1° *Responsabilité de l'architecte qui donne uniquement les plans et devis.* — Il n'est responsable que du préjudice qui serait la conséquence de l'exacte exécution de ses plans et devis.

2° *L'architecte fournit les plans et devis et se charge de l'exécution des travaux.* — Dans ce cas, l'architecte devient entrepreneur; il est soumis à une double responsabilité, déterminée par l'article 1792 du Code civil et qui dure 10 ans.

3° *Fournissant les plans et devis, il surveille l'exécution des travaux confiés par le propriétaire à un entrepreneur de son choix.* — Si l'entrepreneur ou ses ouvriers trompent, ou sont incapables, l'architecte ne peut être responsable des fautes d'un homme imposé par le propriétaire. Si les malfaçons sont telles qu'elles auraient dû être aperçues

par l'architecte, il doit, en cas d'insolvabilité de l'entrepreneur, répondre des condamnations prononcées contre celui-ci.

Les malfaçons et vices d'exécution sont reprochables à l'architecte, car ses connaissances techniques lui font un devoir de refuser un mode défectueux de construction proposé par le propriétaire, ainsi que ses mauvais matériaux. Si le propriétaire persiste, après que l'architecte lui a signalé les inconvénients du mode de construction proposé, la responsabilité de celui-ci n'est plus en cause ; mais il devra pouvoir prouver qu'il n'a exécuté un mode défectueux de construction ou employé de mauvais matériaux que sur les ordres formels du propriétaire.

La perte ou les dommages causés par le vice du sol engagent la responsabilité de l'architecte.

L'approbation des plans et devis d'un édifice public par la Commission des Bâtiments civils et par le Préfet ne dégage pas la responsabilité de l'architecte, en cas de perte ou dommage par suite des vices du plan.

Le dommage résultant de l'inobservation des lois du voisinage ou des règlements de police, inobservation qui a entraîné des peines pécuniaires ou l'obligation de démolir, incombe encore à l'architecte, s'il a négligé d'avertir le propriétaire de l'irrégularité du mode de construction. L'architecte ne sera plus responsable, s'il démontre que le mode de construction irrégulièrement exécuté a été demandé expressément par le propriétaire, malgré ses observations.

4° *L'architecte est appelé à vérifier des mémoires de travaux auxquels il est resté étranger.* — Dans ce cas, l'architecte n'est qu'un simple vérificateur, qui n'est garant que de son dol et de son incapacité.

Si l'architecte a pris un travail à forfait, il ne peut demander d'augmentation de prix, à moins qu'il ne justifie d'ordres donnés par écrit pendant le cours des travaux (art. 1793 du Code civil).

Les architectes ont *privilège* sur les immeubles qu'ils construisent (art. 2103 et 2110 du Code civil).

Réparations locatives (Code civil, art. 1754). — *Arbres et arbustes*, morts pendant la jouissance, sont remplacés par le locataire, s'il est possible de mettre à leur place des arbres du même âge. Les arbustes, arbrisseaux, fleurs, plantés par le locataire, peuvent être enlevés par lui à la fin de la jouissance.

Armoires sont rendues avec les fermetures et les tablettes ; s'il en manque, le locataire les remplace. L'intérieur doit être propre ; toutefois il existe une certaine tolérance pour les armoires des salles à manger, lorsqu'elles ne sont pas peintes à l'huile.

Baguettes dorées, posées en bordure sur les papiers de tenture, sont entretenues par le locataire (qui ne doit cependant aucune indemnité, lorsque l'or est terni).

Bassins et jets d'eau. — Le locataire répond des conduits de fer, plomb ou grès, quand il a laissé des eaux et que la gelée a fait crever ces conduits. Il est tenu d'entretenir les robinets.

Cheminées. — Le foyer brûlé en avançant trop le feu, ou brisé par la chute d'un objet, est réparé par le locataire. Le carrelage, le rideau en tôle, la plaque de fonte doivent également être entretenus par lui.

Cuvettes d'aisances. — Entretien à la charge du locataire. Le propriétaire doit faire les réparations occasionnées par la rouille ou l'oxyde,

mais dans les parties seulement de ces cuvettes où le locataire ne peut accéder.

Écuries, râteliers. — Les râteliers avec leurs rouleaux, les piliers et les barres servant à séparer les chevaux sont entretenus par le locataire.

Espagnolettes, poignées, supports, crochets, à la charge du locataire.

Évier ou *pierre à laver.* — Le locataire répond de leurs brisures ou écornures, à moins qu'elles ne résultent d'un défaut dans la pierre.

Fourneaux de cuisine. — Le locataire répond des carreaux sur les planches qui reçoivent les cendres, des carreaux sur le dessus des fourneaux, des scellements, des réchauds et des grilles.

Glaces. — Les glaces cassées par le locataire doivent être remplacées en même qualité ; les morceaux lui en restent. S'il prouve que les glaces ont été cassées par l'effet du parquet en se déjetant, par tassement ou gonflement du plâtre, il n'est pas tenu de la réparation.

Papier de tenture. — Le locataire doit une indemnité pour les dégâts dont il est l'auteur ; mais le chiffre de l'indemnité variera en raison de l'importance des dégâts et de la durée de l'occupation des lieux.

Parquets. — Les taches d'encre, de graisse, d'huile, etc., les brûlures sont à la charge du locataire ; de même pour les trous des clous qui retenaient un tapis.

Propreté. — Les lieux doivent être rendus en bon état de propreté, époussetés, balayés, ordures enlevées, parquet encaustiqué et frotté.

Ramonage des cheminées — C'est une réparation locative. Les locataires sont tenus de faire ramoner assez souvent pour que le feu ne puisse prendre aux cheminées, par la quantité de suie qui se serait amassée dans les tuyaux.

Tapis posés dans les escaliers sont entretenus par le locataire, s'il occupe seul la maison. S'il y a plusieurs locataires, l'entretien regarde le propriétaire.

Trous faits pour fixer les rideaux, suspendre des tableaux ou des glaces, doivent être bouchés par le locataire.

Vitres et *glaces* nettoyées, etc.

Journées (prix en règlement à l'heure, payable à l'entrepreneur). — La journée d'été est de 10 heures, celle d'hiver de 8 heures (d'après l'*Annuaire Sageret*). (Voir p. 1063).

	L'heure
Ardoisiers : tailleur	0 f. 89
Ameublement, ébénisterie, tapisserie :	
Tapissier	1 15
Tapissier-villier	1 20
Aide-tapissier	0 95
Ouvrière tapissière	0 53
Ouvrière cousant à l'aiguille courbe	0 60
Ouvrière tapissière-villière	0 60
Ebéniste	0 95
Pommadeur	0 80
La nuit, l'heure (double du jour).	

	L'heure
Asphalte et bitume :	
Ouvrier applicateur, été et hiver	0 90
Aide	0 64
Carrelage : Compagnon	1 05
Garçon	0 72
Charpente : Compagnon	1 05
Le fer de scie	1 95
Chaudronnier	1 20
Aide-chaudronnier	0 55
Cimentier : Hiver et été	1 03
Aide	0 64
Rocailleur et rustiqueur	1 25

	L'heure	
Couverture et plomberie:		
Compagnon couvreur	1	18
Plombier, été et hiver	1	10
Zingueur	1	06
Garçon zingueur	0	76
Garçon couvreur	0	79
Aide-plombier	0	79
Gardien dans la rue	0	55
Dorure: heure de jour, été et hiver	1	25
La nuit	2	50
Égouts et canalisation :		
Chef d'équipe	1	10
Limousin	0	77
Cimentier ordinaire	0	84
Aide-rocailleur	0	62
Terrassier	0	64
Gardien de rue ou gardien de nuit	0	45
Filage. Une journée sans métrage	10	»
Fumisterie : Compagnon fumiste, poêlier	0	96
Compagnon tôlier	1	10
Garçon fumiste ou tôlier	0	62
Fumiste-briqueteur, compagnon	1	»
Garçon	0	69
Granitier : Tailleur, été et hiver, outils compris, l'heure de jour	1	10
Poseur de granit	0	90
Aide-poseur	0	64
Grillageurs, compris outils.	0	96
Maçonnerie : Tailleur de pierre, pour ravalement, été et hiver, compris fourniture d'outils	1	30
Tailleur de pierre	0	97
Poseur	0	97
Contre-poseur	0	77
Ficheur	0	77
Pinceur	0	77
Bardeur	0	77
Maçon	0	96
Limousin	0	77
Garçon maçon ou limousin.	0	62
Briqueteur	0	94
Garçon briqueteur	0	64
Gardien de rue	0	55
Marbrerie : Marbrier	1	06
Polisseur	0	92
Menuiserie et parquetage : Compagnon, jour	0	94
Parqueteur	1	15
Rampiste	0	85
Treillageur	0	80
Miroiterie: Le jour	0	96
— La nuit	1	45
Pavage: Compagnon	0	90
Garçon	0	64
Piqueur de grès	1	03
Peinture et vitrerie :		
Compagnon, hiver ou été, compris outils	1	»
Travail de nuit	2	»
Peintre en décors	1	50
Colleur de papier	1	»
Vitrier	0	95
Plombier, zingueur-gazier.	1	10
Garçon	0	79
Ajusteur, perceur, fondeur, monteur et mécanicien	1	10
Gardien de rue	0	55
Poseur de sonnettes	1	10
Puisatiers (compris équipages et outillages), chef d'équipe	10	»
Puisatier	0	75
Aide	0	64
Sculpture d'ornements :		
Mouleur en plâtre	1	62
Cartonnier, estampeur ou poseur	1	56
Serrurerie (journée de 10 h. travail complet) :		
Forgeron, grande forge	1	14
Frappeur ou tireur de soufflet, grande forge	0	74
Forgeron, petite forge	0	94
Frappeur ou tireur de soufflet, petite forge	0	67
Ajusteur, ferreur, de charpentier et fer, homme de ville	0	97
Perceur et homme de peine	0	70
Stuc: Stucateur, poseur et tailleur de stuc	1	03
Polisseur de stuc	0	90
Terrasse : Compagnon piocheur ou pelleteur, compris outils	0	64

	L'heure		L'heure
Compagnon glaisier.....	1 »	Charpentier rustiqueur....	1 05
Puisatier.....	0 87	Cimentier rocailleur.....	1 05
Aide.....	0 64	*Vitraux :* Coupeur.....	1 19
Treillageurs.....	0 80	Monteur.....	1 06

Journée de voitures : à 1 cheval, 16 francs ; à 2 chevaux, 28 francs ; à 3 chevaux, 35 francs (compris conducteur).

Démolitions. — Toute construction joignant la voie publique ne peut être démolie qu'après autorisation municipale. Pour Paris, les ordonnances de police des 8 août 1819 et 25 juillet 1862 imposent l'établissement d'une palissade de 2 mètres de haut, placée, autant que possible, à 2 mètres du bâtiment ; elles exigent le stationnement d'un gardien et un éclairage de nuit. Celui qui veut opérer une démolition doit avertir son voisin et lui donner le temps pour faire les étaiements et ouvrages qu'il jugera à propos. Le propriétaire qui veut démolir doit prévenir le maire 10 jours à l'avance.

Prix des démolitions

	Le m. cube
De massifs, murs et voûtes, avec montage ou descente des matériaux et sortie des gravois, en plâtras.....	2f,10
Idem, en moellons.....	2 75
Idem, en meulières, briques ou bétons.....	3 45
Idem, de mur, voûte et radier de fosse, en moellons, meulière, brique ou béton.....	5 75
Idem, de légers, compris triage, descente ou montage des matériaux et sortie des gravois.....	3 15

Cahier des charges imposé aux Entrepreneurs du Service municipal de Paris, en ce qui concerne le mode d'exécution des Travaux (25 *juillet* 1879).

TITRE I. — Objet du cahier des charges et conditions communes a toutes les entreprises

Art. 2. — Les entrepreneurs seront soumis aux clauses et conditions générales imposées aux entrepreneurs des travaux des Ponts et Chaussées [1].

Art. 4. — L'entrepreneur est tenu, préalablement à l'exécution de tout travail sur la voie publique, d'en donner avis au Commissaire de police du quartier, et de se conformer, à ses frais, à toutes les mesures prescrites par les ordonnances de police ou règlements en vigueur.

Art. 5. — Les *frais de barrage*, d'*éclairage* et de *gardiennage*, faisant essentiellement partie des faux frais qui sont implicitement compris dans les prix alloués par le bordereau de toute entreprise pour chaque nature d'ouvrages, seront toujours à la charge de l'entrepreneur.

Il sera tenu de n'employer pour l'éclairage que des lampes à applique

[1] Les dernières clauses et conditions datent de 1892.

ou des lanternes fermées. Il est exigé comme minimum qu'il y ait une applique ou une lanterne fermée par 10 mètres courants de longueur de chantier.

L'entrepreneur demeurera responsable des dommages ou accidents résultant de sa négligence.

Art. 6. — Dans le cas où l'entrepreneur, absent sans autorisation et requis de comparaître ou de faire agréer son représentant, ne satisferait pas à cette injonction dans un délai de dix jours, il sera considéré comme ayant abandonné son entreprise, et le Préfet pourra, à son choix, ordonner, sans autre formalité de mise en demeure, soit l'établissement d'une régie aux frais de l'entrepreneur, soit une réadjudication sur folle enchère, soit la résiliation pure et simple de l'entreprise.

Art. 7. — Les ouvrages sont inscrits sur les carnets des conducteurs et piqueurs ou sur des feuilles spéciales d'*attachement*.

Faute par l'entrepreneur d'avoir accepté ou annoté sans réserves les attachements dans le délai de trois jours, à dater de la réquisition, il ne sera plus admis à élever de réclamations contre leur contenu, qui sera considéré comme accepté. Dans le cas où il n'aurait accepté les attachements que sous réserves, il lui serait accordé un délai de dix jours pour formuler par écrit ses observations.

Art. 8. — Les ouvriers, chevaux et voitures fournis par l'entrepreneur pour être employés en régie, seront payés à l'heure de travail effectif, sans que toutefois il puisse être compté moins de cinq heures de travail par jour ou par nuit. Les heures d'attelage et de repos des chevaux seront fixées par l'ingénieur.

L'Administration se réserve d'employer à un service quelconque, et suivant ses besoins, les voitures et les attelages fournis par l'entrepreneur ; les chevaux devront rester constamment attelés, à moins d'ordres contraires donnés par l'ingénieur.

Art. 10. — Pour tous les transports et attelages, les *chevaux* seront de choix, exempts de différents vices ou blessures ; les voitures et harnais seront en bon état.

Les voitures fournies par l'entrepreneur, pour un service régulier, seront convenablement peintes en couleur verte ou grise et bien entretenues ; elles seront parfaitement étanches.

Leur capacité, calculée au-dessous du plan horizontal passant par le point le plus bas de la caisse ou du faux-cul du tombereau attelé, devra être de 1 mètre cube au moins pour les tombereaux à un cheval et de 1m,60 pour les tombereaux à deux chevaux. Elles porteront, outre la plaque exigée par les règlements de police, une seconde plaque d'un modèle déterminé avec les mots : *Service municipal*, et la désignation du service pour lequel la voiture est employée.

Art. 11. — Les *tombereaux* employés à un service régulier et tous ceux qui serviront au transport de terre, sable ou autres matériaux dont le cube doit être déterminé par la capacité du tombereau, seront munis d'une plaque sur laquelle sera indiquée, avec un numéro d'ordre, la capacité de la voiture établie préalablement par un métré fait contradictoirement avec l'entrepreneur.

A cet effet, tous ces tombereaux devront être préalablement conduits à l'un des dépôts appartenant à la ville, et là ils seront cubés contradictoirement avec l'entrepreneur ou son représentant, par un conduc-

teur délégué par l'ingénieur, et seront immédiatement munis, aux frais de l'entrepreneur, de la plaque mentionnée ci-dessus. Un procès-verbal de cette opération sera ensuite dressé en double expédition et signé par le conducteur et l'entrepreneur. Ces diverses opérations resteront à la charge de celui-ci.

Art. 12. — L'entrepreneur sera responsable des *accidents* ou dommages provenant du fait de ses ouvriers, charretiers ou chevaux et voitures, ainsi que des dégradations qui surviendraient aux cylindres compresseurs, tonneaux, voitures ou autre matériel appartenant à la Ville.

Les frais de réparations, dûment réglés par les ingénieurs, seront déduits du décompte de l'entrepreneur.

Art. 13. — L'entrepreneur devra, chaque fois qu'il en sera requis, établir des *ateliers de nuit*. Tout travail ainsi exécuté sera payé moitié en sus du même travail fait le jour, tant pour les ouvriers que pour les chevaux et voitures.

Les ouvriers et chevaux fournis pour ces ateliers ne devront pas avoir travaillé le jour précédent et ne pourront être occupés le jour suivant.

Les frais d'éclairage sont à la charge de l'entrepreneur.

On ne comptera comme travail de nuit que celui qui sera effectué de sept heures du soir à cinq heures du matin pendant la période d'été, et de cinq heures du soir à sept heures du matin pendant la période d'hiver.

La période d'été commence le 1er mars, et celle d'hiver le 1er novembre.

TITRE II. — Conditions d'exécution des travaux

CHAPITRE I. — Terrassements et transports

Art. 17. — Avant de commencer un *déblai*, quel qu'il soit, ou un redressement du sol, il sera procédé, contradictoirement avec l'entrepreneur, et à ses frais, à un *nivellement* général et au relevé des profils sur lesquels on indiquera la hauteur des terres à enlever et celle des remblais nécessaires.

Art. 18. — Les nivellements, les régalages et dressements de talus seront faits conformément aux plans et profils donnés par l'ingénieur.

Si l'entrepreneur excède les limites fixées, il ne lui sera tenu compte que de la partie qui avait été ordonnée, et il sera obligé de remblayer à ses frais le vide excédent, de damer et pilonner les terres avec soin, si l'ingénieur l'exige.

Art. 19. — Lorsque la *fouille* aura moins de 20 centimètres d'épaisseur moyenne, il sera alloué par mètre superficiel une plus-value qui sera fixée par le bordereau et qui pourra se confondre avec le prix de dressement de la surface.

Art. 20. — Le *cube des déblais* sera évalué, autant que faire se pourra, d'après les profils dressés avant et après l'exécution des travaux et acceptés par l'entrepreneur. S'il est nécessaire de laisser des témoins, leur place sera désignée par un agent de l'Administration contradictoirement avec l'entrepreneur ou son commis.

Art. 21. — Dans le cas où le mode de mesurage du cube des déblais d'après les profils présenterait des difficultés dont les ingénieurs seront

seuls juges, on tiendra attachement du volume enlevé par chaque tombereau, et le cube du déblai sera calculé d'après ce volume, déduction faite de 1/6 pour tenir compte du foisonnement des terres, quels que soient la nature des terres et leur foisonnement.

Art. 22. — Le *jet* est de 2 mètres de distance horizontale et de 1m,60 de hauteur verticale ; il n'est fait aucune distinction entre le jet sur berge et le jet sur banquette.

Art. 23. — Le *chargement en brouettes ou en tombereaux* est assimilé à un jet.

Lorsque la fouille en excavation ou en déblai sera accessible aux tombereaux, ce dont l'ingénieur sera juge, il ne sera alloué aucun autre jet que celui du chargement en tombereaux ; les reprises et jets ne seront comptés qu'en cas d'impossibilité ou de défense par l'ingénieur de faire descendre les tombereaux dans les fouilles par crainte d'accidents.

Art. 24. — La *longueur des relais* varie suivant les moyens que l'on emploie.

Pour les transports à la brouette, elle est de 30 mètres en plaine et de 20 mètres en rampe inclinée à 0m,06 et au-dessus par mètre.

Pour le transport au tombereau, elle est de 100 mètres, quelle que soit la déclivité.

Pour le transport au wagon, sur chemin de fer, elle sera fixée par le cahier des charges spécial des travaux pour lesquels ce mode de transport sera prévu.

Le prix du relai est indépendant de la nature des terres à transporter.

Toute fraction de relai est négligée, si elle est inférieure à une demi-longueur, et comptée pour un relai entier dans le cas contraire.

Ces dispositions sont applicables au transport de toute espèce de matériaux, pierre, moellons, cailloux, sable, etc.

Art. 25. — La *plus-value pour extraction de roche ou de vieille maçonnerie* ne sera appliquée que dans le cas où il sera nécessaire de faire emploi de la mine, du pic, du ciseau ou du coin, et, en outre, à la condition que la roche soit en bancs d'au moins 0m,30 d'épaisseur et non en rognons isolés au milieu des déblais.

Art. 26. — Il ne sera pas accordé de plus-value pour les terrassements faits dans l'embarras des étais ou étrésillons, ni pour la difficulté des transports le long des rues dans lesquelles des égouts ou travaux d'une autre nature seraient exécutés, ni pour les racines d'arbres ou autres difficultés que les fouilles pourraient présenter ; enfin dans le cas où il se trouverait moins de 0m,10 de hauteur au fond de la fouille, l'entrepreneur devant, sans aucune allocation supplémentaire, enlever toutes les terres et faire écouler les eaux jusqu'au point indiqué par l'ingénieur pour l'installation des machines d'épuisement.

Les frais d'*épuisement*, sur ce point, seront à la charge de l'Administration, l'entrepreneur fournissant seulement, au prix du bordereau, le nombre d'ouvriers qui lui sera demandé, et, s'il y a lieu, les pompes d'épuisement.

Art. 27. — Lorsque les *étaiements* seront comptés *à forfait*, l'entrepreneur demeurera libre de soutenir ses fouilles comme il l'entendra ; mais, en retour, il sera responsable de tous les éboulements qui pour-

ront survenir, quel qu'en soit le motif, ainsi que de tous les dommages qui pourraient en résulter pour les maisons voisines et pour les tiers.

Dans le cas, néanmoins, où l'imprudence de l'entrepreneur compromettrait la sûreté publique ou celle des ouvriers, l'ingénieur pourra ordonner les mesures qu'il jugera urgentes et nécessaires, et l'entrepreneur devra se conformer immédiatement à ces ordres, sans avoir, pour ce fait, droit à aucune indemnité ni plus-value.

Art. 28. — Au fur et à mesure de l'avancement d'un travail, les *terres* provenant des fouilles et reconnues propres à être *réemployées en remblai* seront transportées sur les lieux d'emploi, étalées et régalées par couches de 0m,10 à 0m,20 d'épaisseur et, pour faciliter le tassement, les voies de roulage seront déplacées à chaque passe.

Indépendamment de ces prescriptions, les remblais seront pilonnés avec soin, si l'ingénieur l'ordonne, moyennant l'allocation des prix du bordereau.

Art. 29. — Le sable, les pierres de taille, moellons, terres végétales, terres glaises et, en général, les *matériaux* de toute nature *trouvés dans les fouilles* appartiennent à l'Administration.

Si le sable ou les cailloux sont d'assez bonne qualité pour être employés dans la confection des mortiers ou du béton, l'ingénieur pourra ordonner cet emploi; dans ce cas, il sera établi de nouveaux prix pour ces mortiers et ce béton.

Pour les pierres de taille et les moellons, les plus-values pour frais d'extraction ou de démolition seront payées à l'entrepreneur, ainsi qu'il est dit à l'article 25, et l'ingénieur ordonnera soit leur réemploi sur le chantier même, soit leur transport sur un autre atelier ou dans un dépôt; l'entrepreneur sera tenu d'avancer, s'il y a lieu, les droits d'octroi qui lui seront remboursés avec 1/40e de bénéfice pour avance de fonds.

Les terres végétales et le sable ou la glaise seront triés et mis à part, si l'entrepreneur en reçoit l'ordre, sans autre allocation que le paiement du chargement et du transport.

Art. 30. — Les déblais qui ne seront pas employés en remblai ou réservés ainsi qu'il est dit aux articles précédents, seront *transportés aux décharges publiques*, soit dans l'intérieur de Paris, soit en dehors des fortifications, moyennant un prix unique par mètre cube, quelle que soit la distance: l'Administration n'interviendra en aucune façon ni dans la recherche, ni dans le choix de ces lieux de décharge, et l'entrepreneur sera chargé du paiement de tous droits, de même qu'il sera exclusivement responsable de tous dommages ou autres conséquences des dépôts qu'il aura effectués.

Toutefois, lorsque l'Administration aura des remblais à faire exécuter, soit sur des voies publiques ou dans des propriétés privées pour leur raccordement avec ces voies, soit sur des terrains communaux, l'ingénieur indiquera ces points comme lieux de décharge, et l'entrepreneur sera tenu d'y transporter les déblais en excès. Dans ce cas, les prix des transports seront évalués en comptant la distance moyenne du parcours le plus direct.

Art. 31. — Les remblais provenant des travaux particuliers et amenés sur l'atelier comme à une décharge publique seront régalés ou pilonnés, s'il y a lieu, par les soins de l'entrepreneur, moyennant l'ap-

plication du prix du bordereau. Les ingénieurs fixeront, en raison des localités, la prime à donner, s'il y a lieu, aux charretiers étrangers exécutant ces transports, et l'entrepreneur, s'il en reçoit l'ordre, en fera l'avance dont il sera remboursé avec 1/40 de bénéfice pour avance de fonds.

Art. 32. — Si, pour toute cause du fait de l'entrepreneur, il arrivait que des terres provenant de la fouille ne fussent pas enlevées dans les délais fixés par l'ingénieur, encombrassent la voie publique et gênassent la circulation, l'enlèvement de ces terres pourrait être exécuté d'office, aux frais de l'entrepreneur, sans autre formalité et sans préjudice des retenues fixées par le cahier des charges spécial à l'entreprise.

CHAPITRE II. — Pavages et empierrements

§ 1er. *Nature et qualité des matériaux.* — Art. 34. — Les *pavés* seront en grès, arkose, porphyre ou autres matériaux analogues. Ils seront d'un grain fin et serré, ne contiendront ni croûtes ni bousin et seront exempts de fils, moies ou autres défectuosités; on rebutera ceux qui seraient gélifs, ceux qui présenteraient des plans de clivage apparents suivant lesquels ils se fendraient sous le marteau, et ceux qui, soit pour insuffisance de cohésion, soit en raison de leur nature aigre et cassante, seraient exposés à s'épaufrer ou à se gruger trop facilement sur les arêtes, sous l'influence des chocs ou de la circulation.

Art. 35. — Tous les pavés auront la forme de parallélipipèdes rectangles ou de cubes. Ils seront des dimensions prescrites et seront taillés à arêtes droites, et suivant des faces planes, retournées d'équerre, et ne présentant ni bosses, ni flâches, sauf les tolérances admises par les devis spéciaux.

Art. 36. — Le *sable* pour pavages, empierrements ou contre-allées, sera du sable de rivière ou du sable de plaine, suivant les ordres de l'Administration. Quelle qu'en soit la provenance, il devra être pur, graveleux, d'un grain sec, et ne contenir aucune partie de terre ou d'argile. Il devra être criblé de manière qu'aucun grain ne présente en aucun sens plus de 0m,010 de longueur, s'il s'agit de sable pour empierrements ou contre-allées, ou plus de 0m,006 de longueur, s'il s'agit de sable pour forme de pavage, ou enfin plus de 0m,004 de longueur, s'il s'agit de sable pour couverture de pavage et garnissage de joints de pavés.

Art. 37. — Les matériaux (chaux, ciment et sable) entrant dans la composition des *mortiers* pour pavages satisferont à toutes les conditions énoncées au chapitre des maçonneries. On se conformera également, pour le mode de fabrication des mortiers, aux prescriptions dudit chapitre.

Art. 38. — Les *matériaux pour empierrement* seront des cailloux bruts ou cassés, de la meulière compacte, des quartzites, porphyres ou autres matériaux analogues.

Art. 40. — Les cailloux seront de nature purement siliceuse.

Art. 41. — La meulière compacte sera dure, homogène, non vitrifiée, sans parties argileuses, calcaires ou poreuses.

Art. 43. — Ces matériaux seront triés ou cassés, suivant les dimensions fixées par les devis spéciaux, et de manière à ne pas contenir de morceaux en forme de plaques longues et minces.

§ 2. *Mode d'exécution des ouvrages.* — Art. 44. — Pour les relevés à bout ou remaniements de chaussées pavées, l'entrepreneur fera démolir le pavage dans les limites qui lui seront indiquées, et fera transporter les pavés aux emplacements qui lui seront désignés; s'ils doivent être réemployés, il les fera nettoyer, trier et ranger conformément aux ordres qui lui seront donnés.

Art. 45. — La forme sera ensuite, selon les prescriptions de l'ingénieur, ou enlevée complètement pour être remplacée par une forme neuve, ou purgée des parties reconnues défectueuses, puis repiquée et régulièrement dressée.

Art. 46. — Pour les pavages neufs, l'encaissement sera creusé à la profondeur prescrite, et le fond en sera dressé suivant les pentes et profils adoptés pour le pavage.

Art. 47. — Dans tous les cas, l'encaissement étant bien préparé, le sable destiné à constituer la forme y sera répandu par couches de 0m,10 à 0m,15 d'épaisseur. Chaque couche sera légèrement arrosée et pilonnée avec soin, si l'entrepreneur en reçoit l'ordre.

Art. 48. — La forme étant dressée suivant le profil fixé à l'entrepreneur, les pavés seront posés par ranges droites, perpendiculaires ou obliques à l'axe de la chaussée, selon les ordres donnés.

Les joints seront croisés d'une range à l'autre, de manière que la liaison soit d'au moins 1/3 de la longueur des pavés. La largeur des joints sera fixée dans chaque cas suivant l'échantillon et la nature des matériaux employés, et l'entrepreneur devra faire trier les pavés à pied-d'œuvre, de manière que tous ceux d'une même range diffèrent assez peu de largeur pour que tous les joints restent compris dans les limites indiquées.

Art. 49. — Les pavés seront assurés à coups de marteaux, et les joints seront, suivant les ordres donnés, ou garnis de sable au moment même de la pose, ou laissés vides pour n'être garnis qu'à la fin de chaque journée, après examen du travail par l'agent de l'Administration. Dans tous les cas, les pavés fendus ou écornés, ou ceux qui formeront des joints trop larges ou trop serrés, devront être enlevés ou remplacés.

Art. 50. — Un premier garnissage des joints sera fait, soit au moment de la pose, comme il est dit ci-dessus, soit par un répandage ultérieur de sable à la pelle ou au balai de bouleau, si la pose a été faite à joints vides; les pavés seront ensuite battus, au refus d'une hie de 35 kilogr., tombant de 0m,30 à 0m,40 de hauteur, de manière que leur stabilité soit aussi complète que possible et que le bombement et les pentes soient exactement conformes aux dispositions prescrites.

Art. 51. — Enfin le garnissage des joints sera complété par un fichage à la fiche dentelée, et, en outre, par un fichage à l'eau et au balai de bouleau. Cette dernière manœuvre sera toujours faite par deux hommes, dont l'un tiendra l'arrosoir, et l'autre le balai, et sera conduite de manière que la quantité d'eau versée soit seulement celle qui est strictement nécessaire pour faire descendre le sable dans les joints sur le point même où agit le balai. L'opération sera d'ailleurs continuée aussi longtemps et renouvelée aussi souvent qu'il le faudra, pour que les joints soient complètement remplis de sable, c'est-à-dire

pour que, si l'on arrose à grande eau la surface du pavage préalablement mise à nu, l'eau s'écoule au ruisseau sans qu'il se produise aucun vide dans les joints de pavés.

Art. 52. — La surface du pavage, avant d'être livrée à la circulation, sera recouverte d'une couche de sable neuf de 0m,005 d'épaisseur. Ce sable neuf sera balayé et enlevé par l'entrepreneur, dès qu'il en recevra l'ordre, et en tous cas dix jours au plus après le rétablissement de la circulation.

Art. 53. — L'entrepreneur se conformera aux ordres qui lui seront donnés pour la disposition des ranges dans les carrefours, pour les combinaisons de pavés et boutisses, enfin pour le règlement du bombement de la chaussée au moyen d'une *cerce*, ou par tout autre procédé.

Art. 54. — Pour la construction des chaussées neuves en *empierrement*, l'encaissement sera creusé à la profondeur prescrite, et le fond en sera dressé suivant les pentes et profils adoptés pour la chaussée. empierrée. L'entrepreneur devra, s'il en reçoit l'ordre, garnir de gravois le fond de l'encaissement.

Art. 55. — Les matériaux d'empierrement seront répandus dans la forme, soit en une seule couche, soit en deux couches, qui seront cylindrées séparément, suivant les ordres donnés par l'ingénieur.

Art. 56. — Le cylindrage, s'il est effectué par l'entrepreneur, sera poursuivi jusqu'à ce que la prise des matériaux soit reconnue aussi complète que possible.

§ 3. *Mode de métrage des fournitures et main-d'œuvre.* — Art. 57. — Les pavés payés au millier seront comptés au moyen d'étalages régulièrement disposés. Chaque boutisse sera comptée pour un pavé et demi.

Art. 58. — Le sable sera ou emmétré ou livré dans des tombereaux cubés, comme il est expliqué au chapitre des terrassements. Dans ce dernier cas, le cube du sable sera porté en compte d'après le cube des tombereaux, sans déduction pour foisonnement.

Art. 59. — Les matériaux d'empierrement seront emmétrés sous la forme de pyramides tronquées à base rectangulaire ; le cube porté en compte sera le cube approximatif obtenu pour chaque tas, en multipliant par la hauteur de la pyramide tronquée la surface de la section prise à demi-hauteur.

Art. 60. — Les *transports* de pavés seront comptés au mille et d'après la distance réelle, à moins que les devis spéciaux ne fixent une distance à forfait pour les transports des dépôts affectés à chaque lot sur un point quelconque du lot, et réciproquement, ou pour les transports d'un atelier à un autre dans l'étendue de chaque lot.

Art. 61. — Les *mains-d'œuvre* de pavage seront payées au mètre carré, d'après les surfaces effectives, mesurées en œuvre.

Art. 62. — Les transports de matériaux d'empierrement seront comptés d'après le cube constaté, soit par emmétrage, soit par cubage des tombereaux, et d'après la distance réelle, soit sous la même réserve qu'à l'article 61 ci-dessus, en ce qui concerne les distances qui pourraient être fixées à forfait par les devis spéciaux.

Art. 63. — Le répandage des matériaux d'empierrement sera compté d'après le cube constaté par les lettres de voitures, si les matériaux pro-

viennent des dépôts, ou d'après le cube constaté sur place par emmétrage direct, si les matériaux sont livrés à pied d'œuvre.

CHAPITRE III. — Trottoirs en granit, en bitume chaussées en asphalte

Art. 65. — Les parements vus des *bordures*, ainsi que ceux des *dalles en granit*, seront taillés à la petite pointe ; les plans en seront parfaitement dressés et dégauchis, sans aucune flâche ni moye, et bien pleins sur toute leur superficie ; les arêtes des dalles seront parfaitement droites et sans écornures, celles des bordures, en satisfaisant à ces mêmes conditions, seront arrondies suivant un quart de cercle de 0m,02 de rayon ; les joints seront smillés bien régulièrement et exactement retournés d'équerre dans toute la hauteur, le tout sans aucun démaigrissement quelconque. Aucun bloc ne devra contenir de fentes, de fils ni de parties tendres ou rouillées.

Dans chaque trottoir, les dalles et bordures seront de la même qualité et de la même nuance de granit.

Art. 67. — Les *massifs de fondation* seront construits en moellon dur, dit de roche, hourdé en mortier de chaux hydraulique ou de ciment, suivant les ordres de l'ingénieur ; les moellons seront posés à bain de mortier et affermis au marteau jusqu'à ce que le mortier souffle dans les joints existants, qui seront parfaitement garnis, de manière à ce que le moellon baigne de toutes parts dans le mortier.

Art. 68. — Le *béton* sera composé ordinairement de 2 parties en volume de mortier et de 3 de cailloux. Le mélange obtenu, soit au rabot, soit à la turbine, suivant l'ordre de l'ingénieur, devra être parfaitement homogène.

Tout béton qui ne sera pas employé au moment de la fabrication sera rejeté.

Art. 69. — Les *terrassements* et transports seront comptés et réglés conformément aux dispositions du chapitre I du premier cahier des charges.

Art. 70. — Le *pavage de l'emplacement du trottoir* quand il en existera, *sera démoli* sur la moindre largeur possible, et les pavés, à l'exception de ceux qui seront nécessaires pour remplacer le déchet du raccordement définitif ou pour les pavages de portes cochères, s'ils sont jugés susceptibles d'y être employés, seront, ou transportés chaque soir par l'entrepreneur dans les dépôts de la section d'ingénieur correspondant à son lot, ou rentrés dans la propriété riveraine, ou rangés en tas pour être mis à la disposition du riverain ; dans ces deux derniers cas, il ne sera compté aucun transport ni main-d'œuvre spéciale pour ce rangement.

Avant d'arracher ces pavés, le compte en sera dressé contradictoirement par un agent de l'Administration et par l'entrepreneur ou son représentant.

L'entrepreneur deviendra responsable des pavés constatés, et, s'il ne justifie pas de leur entrée au dépôt, on déduira de son compte la valeur d'une égale quantité de pavés considérés comme pavés neufs de même échantillon et de même provenance.

Le terrain sera ensuite fouillé autant qu'il sera nécessaire pour établir la fondation des bordures.

Les bornes, marches et autres corps saillants existant sur les lieux

seront enlevés, chaque soir, par l'entrepreneur et mis à la disposition de qui de droit, ou, sur l'ordre de l'ingénieur, transportés au dépôt ci-dessus mentionné. Il en sera de même des pavés à transporter dans les dépôts.

Art. 71. — Le sol étant disposé pour recevoir la fondation des *bordures* et parfaitement pilonné, cette fondation sera établie sur un lit de mortier de 0m,03 d'épaisseur; les moellons seront bien placés sur leur lit de carrière; ils seront posés par carreaux et boutisses, et garnis de mortier de manière à ne pas laisser le moindre vide dans les joints.

La surface supérieure sera parfaitement arasée et recouverte d'une couche de mortier.

L'achèvement des massifs de fondation des bordures sera immédiatement suivi de la pose des bordures, qui seront jalonnées et réglées de hauteur, d'après les directions et les repères qui auront été fixés par l'ingénieur ou l'agent par lui désigné.

Le parement supérieur de ces bordures sera, de plus, incliné de telle sorte qu'il se raccorde parfaitement avec le dessus de l'aire en bitume adjacente.

Chaque bloc sera assis bien soigneusement et battu jusqu'à ce que son parement soit parvenu à la hauteur nécessaire, qu'il ait acquis une stabilité parfaite, et de façon que le mortier ressorte par tous les joints.

Les joints des bordures auront 0m,005 de largeur au plus; ils seront repassés et remplis au besoin en y coulant du mortier fin, de manière à ne laisser aucun vide dans la maçonnerie. Le rejointoiement des bordures sera exécuté en ciment de Portland gâché très ferme; on y procédera au moyen d'un grattage préalable, fait au crochet de fer. Le joint, qui devra avoir au moins 0m,03 de profondeur, sera lavé et nettoyé, puis complètement rempli par du ciment fiché avec force et soigneusement lissé; il ne devra rester aucune bavure sur la surface.

A mesure qu'on avancera dans la pose des bordures, le pavé arraché en dehors de leur alignement sera bloqué avec soin, suivant le profil régulier du ruisseau, pour attendre le raccordement définitif, dont l'entrepreneur ne sera pas chargé.

Dans les travaux de remaniement de bordures il ne sera rien compté à l'entrepreneur pour l'arrachage ou le reblocage du pavé en rive, ni pour la démolition du bitume ou de l'asphalte à démolir au pied de la bordure.

Art. 72. — Après la pose des bordures, on procèdera à l'établissement de la couche de sable sur laquelle doivent être assises les *dalles*. Cette couche de sable aura au moins 0m,10 après le pilonnage et l'arrosement.

Les dalles seront posées avec les mêmes soins que les bordures, et seront battues fortement sur leur lit de mortier hydraulique, de manière à le faire refluer sur les joints.

L'appareil des dalles et bordures sera tel que les joints soient couverts de 0m,15 au moins. Les joints des dalles seront continus dans le sens perpendiculaire à l'axe de la voie publique.

A l'encoignure des rues et derrière les bordures circulaires, on évitera les angles aigus, et l'appareil sera, autant que possible, formé par des joints normaux au cercle de raccordement.

Les joints des dalles auront 0m,005 de largeur au plus; ils seront

remplis et garnis ainsi qu'il est prescrit à l'article ci-dessus pour les bordures en granit.

Art. 73. — Les *dallages bitumineux* seront formés d'une couche de mastic de bitume de 0m,015 d'épaisseur au moins, reposant sur une fondation.

Le terrain sur lequel devra être établi le dallage en bitume sera toujours préalablement pilonné, arrosé et damé avec soin. Lorsqu'il aura été ainsi affermi, bien dressé, l'entrepreneur étendra dessus la couche de fondation, formée, suivant l'ordre de l'ingénieur, soit d'une couche de béton, soit de sable recouvert d'une chape de mortier, soit d'une couche de sable imprégné de goudron de 0m,07 d'épaisseur, soit de telle autre fondation prescrite par l'ingénieur.

Dans tous les cas, le dallage en bitume ne devra être établi que lorsque cette fondation aura atteint toute la consistance voulue et sera bien sèche.

Pour la fusion, on cassera d'abord le mastic en morceaux de 0m,10 de côté au plus; on fera fondre ensuite le bitume et on ajoutera le mastic cassé par petites quantités.

Quand la pulvérisation de ce dernier s'opérera par la chaleur, les deux opérations devront marcher simultanément, afin que l'asphalte en poudre soit versé chaud dans le goudron. Le sable ne sera versé dans la chaudière que quand l'asphalte sera complètement dissous.

Pendant toute l'opération, la matière devra être brassée presque constamment, de telle sorte que la combinaison soit bien intime et que le mastic ne soit pas brûlé.

Le mastic étant bien fondu et bien homogène, il sera coulé par bandes de 1m,50 environ de largeur, étendu au moyen d'une spatule en bois et nivelé avec les règles de manière à ne présenter aucune fissure ni aucun joint. Enfin le mastic devra s'araser et se raccorder exactement avec les bordures, dalles, pavés et gargouilles, contre lesquels il s'appuiera; à cet effet, les parties de ces bordures, dalles, etc., qui devront être en contact avec le bitume, seront préalablement chauffées et goudronnées.

Art. 74. — Devant les *portes cochères ou charretières*, le dallage des trottoirs sera interrompu sur une longueur variable, suivant la largeur de la baie, et celui des contre-allées sur une longueur de 2 à 3 mètres.

L'intervalle, d'après l'ordre de l'ingénieur, sera rempli, soit par un pavage soigné, soit par un dallage en asphalte comprimé.

Le pavage sera en matériaux durs taillés au panneau, appareillé en quinconce, et établi sur une forme de sable de 0m,10 recouverte d'une couche de mortier de 0m,03 d'épaisseur.

Les pavés seront posés à bain de mortier hydraulique; les joints auront au plus 0m,005 d'épaisseur et seront garnis en ciment hydraulique. La surface du pavage ne devra présenter aucune flâche de plus de 0m,01 d'épaisseur.

L'épaisseur du dallage en asphalte sera déterminée par un ordre de service de l'ingénieur, et disposée superficiellement au centre, pour le passage des chevaux, en cannelures formant des losanges de la dimension des pavés.

Les bordures devant les portes cochères n'auront, sur 2m,50 à 3 mètres de longueur, qu'un relief variant de 0m,04 à 0m,08, suivant les ordres de l'ingénieur.

La dépression de la bordure devant la porte cochère sera rachetée et limitée par deux rampants ou pans inclinés de 1 à 2 mètres environ de longueur, allant regagner le niveau général du trottoir.

Art. 75. — Les *gargouilles* pour l'écoulement des eaux pluviales et ménagères seront en fonte; elles auront 0m,14 de largeur hors œuvre. 0m,12 en œuvre, et des faces verticales de 0m,01 d'épaisseur; le fond sera en arc de 0m,01 de flèche et aura une épaisseur de 0m,01; leur paroi supérieure aura une épaisseur de 0m,015, y compris les pointes de diamant de 0m,003 de hauteur sur 0m,012 d'équarrissage qui la recouvriront: leur profondeur sera de 0m,065 pour les trottoirs de 0m,10 de saillie et de 0m,115 pour ceux de 0m,17 de saillie.

Une rainure longitudinale de 0m,015 de largeur sera pratiquée au milieu de cette paroi pour le nettoyage de la gargouille; elle ne régnera pas sur les quatre derniers centimètres, aux extrémités.

Du côté des maisons, les gargouilles se termineront en cuiller sous les tuyaux de descente des eaux; les cuillers, de 0m,19 de longueur en œuvre, réduites à 0m,17 à cause des rebords inférieurs, offriront à la partie postérieure une partie arrondie en quart de cylindre.

L'extrémité de la gargouille, du côté de la bordure du trottoir, sera garnie d'une bride de fer forgé, ayant moyennement 0m,05 de large sur 0m,01 d'épaisseur; cette bride sera ajustée de manière à ce que sa surface affleure parfaitement le dessus de la gargouille.

Les gargouilles des trottoirs très larges seront composées de plusieurs morceaux. Celui d'amont s'engagera constamment dans celui d'aval au moyen d'une partie élargie et approfondie en emboiture dont le morceau d'aval sera muni. Cette partie aura 0m,07 de longueur, 0m,15 de largeur et 0m,13 de profondeur en œuvre, de manière à laisser un jeu de 0m,005 au-dessus de chaque côté du bout d'amont: la partie supérieure sera supprimée dans cette longueur de 0m,07. Pour que les pièces composant la gargouille ne puissent être enlevées sans démolir le dallage, elles porteront, à 0m,10 de leur extrémité d'amont et à 0m,25 de celle d'aval, des goujons ou appendices de 0m,03 de saillie, de 0m,03 de largeur et de 0m,015 d'épaisseur. Leur face supérieure sera de 0m,10 en contre-bas du sommet de la gargouille avec laquelle ils seront fondus.

On emploiera dans quelques localités des gargouilles de 0m,20 et même de 0m,25 de largeur (au lieu de 0m,12) en œuvre. Leurs dispositions seront, du reste, les mêmes que celles des gargouilles ordinaires.

Les gargouilles destinées à l'écoulement des eaux de l'intérieur des maisons seront, à moins de prescriptions contraires, placées obliquement de chaque côté des portes cochères, de manière que la distance comprise entre les deux gargouilles soit plus grande à la bordure du trottoir qu'au seuil de la porte. Les gargouilles seront alors garnies de brides en fer biaises pour raccorder leurs extrémités avec la face antérieure de la bordure.

Art. 76. — Les *chaussées en asphalte* seront formées d'une couche de roche asphaltique en poudre, comprimée, reposant sur une fondation.

Sur le sol, bien dressé et pilonné avec soin, on posera le béton, qui sera recouvert d'une couche d'enduit en mortier de même nature que celui du béton, pour en régler exactement la surface. Les pentes transversales, généralement faibles, seront, dans chaque cas, fixées par l'ingénieur.

La roche asphaltique, broyée ou décrépitée par la chaleur, sera portée à une température uniforme de 120 à 130° C. et conduite sur le lieu d'emploi dans des véhicules disposés de manière à éviter autant que possible les déperditions de chaleur ; elle devra être complètement purgée de l'eau qu'elle contient.

L'application de la couche supérieure n'aura lieu que lorsque le béton de fondation sera parfaitement pris, et sa surface bien sèche. La poudre, étalée sur une épaisseur plus forte des deux cinquièmes environ que l'épaisseur définitive, dressée avec beaucoup de soin, sera pilonnée d'abord avec précaution, puis en augmentant graduellement d'énergie, au moyen de pilons en fonte chauffés à la température convenable dans des fourneaux portatifs. Toutefois, mais très exceptionnellement, la compression pourra aussi, avec la permission écrite de l'ingénieur, être opérée au moyen de rouleaux promenés sur la surface jusqu'à son entier refroidissement.

Dans tous les cas, aussitôt la compression achevée, un lissage superficiel sera opéré au moyen d'un fer chauffé, approprié à cet usage.

La chaussée ne sera livrée à la circulation des voitures et des piétons que lorsqu'elle sera refroidie et ramenée à la température ambiante.

CHAPITRE IV. — Maçonnerie

§ 1er. *Maçonnerie de moellons, meulière et pierre de taille.* — Art. 77. — La *pierre de roche* sera de première qualité et sera tirée, ainsi que la pierre franche, des carrières d'Arcueil, Bagneux, Châtillon, Souppes, Laversine et Euville, ou de toute autre carrière désignée au devis ; elle sera ébousinée à vif ; tout morceau qui contiendra des fils ou moyes sera rebuté ou réduit en moellons.

La *pierre de taille tendre* sera tirée des carrières de Saint-Leu, Conflans, Creil et Méry, et réunira les mêmes qualités que la pierre de taille dure ; elle sera d'un grain fin, homogène et sans défaut.

Toute pierre gélive devra être remplacée aux frais de l'entrepreneur avant la fin du délai de garantie.

Art. 78. — Le *granit* proviendra des meilleures carrières de Flamanville, près de Cherbourg, et des environs de Vire (Calvados); il devra être formé de grains durs adhérents, et devra peser au moins 2.650 kilogr. le mètre cube. En le présentant à la réception, l'entrepreneur sera tenu de justifier de la carrière d'où il provient.

Art. 79. — Le *moellon* sera dur, dit de roche et de bonne qualité; il ne différera de la pierre dure que par l'échantillon. Tout moellon tendre ou gélif sera remplacé aux frais de l'entrepreneur avant la fin du délai de garantie.

Art. 80. — La *meulière* sera tirée de Villeneuve-Saint-Georges, de Corbeil, de Buc, de La Ferté-sous-Jouarre, de Château-Thierry, des Loges, ou de tout autre endroit donnant de la pierre de nature équivalente ; elle sera légère, d'un grain poreux et coloré ; on n'emploiera ni caillasse ni rognons non gisants; elle sera rigoureusement dépouillée de terre et lavée au besoin à la brosse.

Art. 81. — Les *briques et briquettes de Bourgogne* seront de première qualité, bien moulées et entières, sans gerçures ni bavures, non vitrifiées, non gélives, sonores et bien cuites; la brique aura 0m,22 de longueur sur 0m,11 de largeur et 0m,054 d'épaisseur; et la briquette, 0m,22 de longueur sur 0m,11 de largeur et 0m,027 d'épaisseur.

Art. 82. — La *brique de pays* sera celle de Sarcelles, de la gare ou de Paris, et réunira les mêmes qualités que celle de Bourgogne. Elle aura les mêmes dimensions. Les briques cintrées pour tuyaux sortiront des meilleures fabriques.

Art. 83. — Le *plâtre* sera tiré des meilleures carrières des environs de Paris; il sera bien cuit, onctueux et non éventé, passé au tamis et au panier, suivant la nature de l'ouvrage auquel il doit servir, et employé immédiatement après sa calcination.

Art. 84. — Le *sable* sera tiré de la Seine ou pris dans les meilleures minières des environs de Paris, selon que l'ingénieur prescrira d'employer du sable de rivière ou de plaine; il sera pur, graveleux, d'un grain sec et parfaitement purgé de terre. Il ne devra contenir aucun grain de plus de 0m,006 de grosseur pour les bétons et grosses maçonneries, et de plus de 0m,003 pour les maçonneries de briques, les parements et les rejointoiements.

Art. 85. — Les cailloux employés pour le béton auront de 2 à 5 centimètres de grosseur; ils devront être purgés de terre et de toutes matières étrangères au moyen d'un lavage.

Art. 86. — La *chaux hydraulique* sera naturelle ou artificielle.

Sera réputée chaux hydraulique celle qui, après avoir été placée sous l'eau immédiatement après son extinction, sera prise huit jours après son immersion, c'est-à-dire portera sans dépression une aiguille d'acier de 1/5 de millimètre (0m.0002) de diamètre, limée carrément à l'extrémité chargée d'un poids de 300 grammes.

La chaux hydraulique sera fournie en poudre; elle ne sera apportée sur le chantier qu'en sacs plombés marqués du nom du fabricant; elle sera d'ailleurs approvisionnée au moins douze jours à l'avance et déposée sous des abris clos et couverts; l'entrepreneur devra fournir les échantillons nécessaires aux essais.

Art. 87. — Le *ciment hydraulique* sera apporté en poudre sur l'atelier, dans des sacs plombés portant sur une première médaille le nom du fabricant et, sur une seconde, l'estampille de la ville de Paris.

Il proviendra des usines autorisées par la Ville, soit pour les ciments à prise lente, soit pour les ciments à prise rapide. Tout sac de ciment qui, tout en portant le plomb de la Ville et la marque d'une usine autorisée, aura des pièces ou des coutures cousues en dehors ou dont les liens portant les plombs n'auront pas été passés dans le sac lui-même sera repoussé du chantier et donnera lieu à une retenue de 5 francs par sac. L'entrepreneur devra faire ses approvisionnements trois jours d'avance, tenir son ciment sur une aire en planches, dans un local clos et couvert, et fournir tous les échantillons nécessaires aux essais et analyses.

Le ciment à prise rapide devra faire prise sous l'eau en moins de dix minutes.

Le ciment de Portland devra peser de 1.350 à 1.450 kilogr. le mètre cube, et la durée de la prise sous l'eau devra être de deux heures au moins.

Art. 88. — Les matériaux ci-dessus fournis par l'entrepreneur seront sujets à vérification, et dans le cas où l'ingénieur les refuserait, l'entrepreneur sera tenu de les faire enlever sur-le-champ et d'en fournir d'autres.

Ceux qui auraient été reçus sans être employés seront rangés sur place aux frais de l'entrepreneur.

Art. 89. — On se conformera, pour l'*extinction de la chaux*, aux instructions qui seront données par l'ingénieur.

Pour la *confection du mortier*, la chaux et le sable, mélangés préalablement dans les proportions indiquées au bordereau, puis mouillés de la quantité d'eau strictement nécessaire, seront fortement corroyés sur une aire en planches. Les mortiers devront être faits au broyeur à bras ou au broyeur à vapeur, quand l'ingénieur le prescrira.

Le mortier de ciment de Portland sera fabriqué comme celui de chaux hydraulique.

Quant au mortier de ciment de Vassy, il sera fabriqué en petites quantités dans des auges en bois. Le mélange de sable et de ciment dans les proportions indiquées au bordereau sera d'abord fait à sec, puis mouillé sans être noyé et fortement agité à l'aide de la truelle, d'un côté du gâchoir à l'autre; il sera employé immédiatement après le gâchage.

Art. 90. — L'entrepreneur sera tenu d'avoir, sur chaque atelier, des mesures métriques d'une capacité déterminée, qui serviront à établir les proportions des matières entrant dans la composition des mortiers, lesquelles seront généralement comptées en volume et conformément aux dosages portés dans l'analyse. Cependant, pour les ciments de Portland, le dosage pourra être prescrit au poids, et l'entrepreneur sera tenu d'avoir une balance sur le chantier.

Art. 91. — S'il arrivait que l'entrepreneur fît mettre furtivement de l'eau dans les mortiers ou bétons, lesdits mortiers ou bétons seraient immédiatement rebutés et enlevés de l'atelier, aux frais de l'entrepreneur. La même mesure sera prise pour tout mortier qui aurait durci sur l'aire avant l'emploi. Dans l'un et l'autre cas, les maçonneries où ces mortiers auraient été employés seraient démolies aux frais de l'entrepreneur.

Art. 92. — Le mètre cube du *béton* sera composé de la quantité de mortier fixée au bordereau et du volume de cailloux nécessaires, d'après une expérience préalable pour que le mélange cube 1 mètre. Le béton sera fait à la bétonnière cylindrique à barreaux croisés, dont l'installation incombera à l'entrepreneur.

Art. 93. — L'entrepreneur ne pourra donner à la *tâche* la façon de la maçonnerie ni la fabrication des mortiers.

Art. 94. — Les *pierres de taille* offriront exactement les dimensions et formes déterminées par les dessins d'appareil. Les lits des assises seront parfaitement dressés dans toute leur étendue. Les *joints* seront *taillés* avec soin et retournés sur $0^m,15$ parfaitement d'équerre au parement. Les arêtes des parements seront bien vives, ciselées sans écornures ni épaufrures, les parements layés ou bouchardés avec soin.

Les prix portés au bordereau, pour la taille des parements vus, comprennent toute taille quelconque des lits et joints, etc.

Art. 95. — Les pierres seront *posées* sur mortier, sans aucune espèce de cales; elles seront assurées à coups de masses de bois et parfaitement garnies dans toute la partie engagée dans la maçonnerie. Les lits auront au plus 1 centimètre, et au moins 8 millimètres; les joints montants ne pourront varier d'épaisseur que dans les limites de 5 à

10 millimètres. Ils seront garnis en mortier ferme, enfoncés avec une fiche à dents, et non remplis en coulis, dont l'emploi est formellement interdit. Les pierres, avant leur pose, seront arrosées avec un arrosoir à pommes.

Art. 96. — La *maçonnerie de pierre de taille* sera comptée dans tous les cas pour le cube réellement mis en place; les prix de la série tiennent compte des déchets pour la mise en œuvre.

Dans le cas d'évidement entre deux ou plusieurs faces conservées, on comptera pour fourniture le cube réel de la pierre abattue compris entre les prolongements des faces conservées, et on appliquera à ce même cube le prix d'abatage prévu au bordereau.

Art. 97. — Il ne sera employé dans les *parements vus de maçonnerie en moellons ou en meulières* que des pierres ayant au moins 0m,25 de queue. Il est expressément défendu d'y placer des garnis. Les joints seront dressés d'équerre sur 0m,10 au moins de longueur; de quatre en quatre moellons, il sera employé une boutisse ayant au moins 0m,45 de queue.

Art. 98. — Les *moellons piqués* devront être soigneusement équarris et tous de même hauteur, de manière que les diverses assises soient égales entre elles; leur tête sera piquée et taillée au marteau de tailleur de pierre; en un mot, le moellon piqué ne différera de la pierre de taille que par les dimensions.

Art. 99. — Les *moellons smillés* seront seulement équarris et placés par assises de niveau, sans que ces assises soient rigoureusement égales entre elles; leur tête présentera un parement rectangulaire.

Dans le cas où ils seraient encadrés par des chaînes de pierre, la hauteur de deux assises de moellons devra correspondre exactement à celle d'une pierre de taille.

Art. 100. — Les *meulières et moellons* qui seront employés à la *confection de la maçonnerie* seront bien gisants sur leurs lits et posés à bain de mortier, de telle sorte que deux moellons ne se touchent pas sans interposition de mortier.

Si l'ingénieur s'aperçoit qu'il y a des vides non remplis de mortier, il aura droit de faire démolir autour de l'endroit où cette malfaçon existera, pour chercher si plus loin la maçonnerie est bien faite. Il s'assurera spécialement si les joints contigus à la paroi de la fouille sont bien remplis en mortier. L'entrepreneur n'aura aucune indemnité à réclamer à cet égard.

L'entrepreneur devra exécuter les maçonneries pour égouts, en meulière brute et mortier de ciment à plein bain, en ayant soin de ne pas laisser la pierre faire saillie sur le parement.

Les berges ayant été dressées suivant le profil extérieur des pieds-droits, le profil intérieur de la galerie sera déterminé par des cordeaux posés au fur et à mesure de l'avancement de la maçonnerie et tendus sur des gabarits qui présenteront exactement la forme du type à construire. On disposera sur tout le périmètre de l'égout les meulières de façon que les joints soient, autant que possible, normaux au parement de la galerie.

Art. 101. — Les *joints des pierres meulières et moellons formant les parements vus* seront refaits en mortier de chaux ou de ciment hydraulique et de sable tamisé; ils laisseront les faces apparentes et seront

frottés à plusieurs reprises avec un lissoir en fer ; au préalable, on dégradera le mortier de pose sur 0m,03 de profondeur, et on lavera le joint.

Lorsque l'ingénieur le prescrira, le lissage sera fait directement sur le mortier de pose.

Les joints ne devront jamais être polis avec le plat de la truelle, mais râclés avec son tranchant, le rejointoiement pourra être supprimé par un ordre de service.

Art. 102. — Lorsqu'il s'agira de *rejointoiement d'anciens parements de moellons et de meulières*, la dégradation des joints se fera profondément avec des marteaux à pointe aciérée et à grains d'orge, comme les marteaux de carriers.

Art. 103. — Les *enduits* seront toujours posés sur un *rocaillage* en mortier de ciment. Les joints seront dégradés à vif ; on les nettoiera et on les lavera énergiquement, puis on fera le rocaillage en petites pierres dures noyées dans le mortier ; alors le mortier de l'enduit sera fouetté sur les maçonneries, étendu avec la taloche et la truelle et lissé à la brosse et au pinceau. Il y aura deux prix d'application selon que les enduits seront exécutés sur murs neufs ou vieux, et l'entrepreneur ne pourra rien demander en sus, quelle que soit la main-d'œuvre, voire même dans les réparations de fosses d'aisances.

Art. 104. — Les *enduits ou crépis* pour ravalements intérieurs et extérieurs seront bien conditionnés. Avant de les appliquer, on préparera les murs en humectant les parements et dégradant les joints ; si c'est un vieux mur, on fera tomber les anciens plâtras, et ceux auxquels les enduits se raccorderont seront hachés et dentelés sur les bords. On fera les renformis en plâtre pur.

Les lancis seront affermis avec tuileaux et placés en bonne liaison avec le reste de la maçonnerie.

Les *enduits en ciment* de Portland ou de Vassy seront parfaitement lisses, polis et unis de ton. Ils supporteront sans se faïencer le lavage à la lance. Baignés par l'eau, ils présenteront l'aspect et la dureté du marbre.

Les enduits en *plâtre aluné* auront l'éclat, la douceur et la variété de tons des stucs ; ils pourront s'éponger sans s'altérer.

Art. 105. — Les *scellements* de solives, gonds, pattes, chevilles, etc., seront faits en plâtre pur, employé le plus serré possible, affermis de tuileaux et ragréés proprement, ou en ciment additionné d'une petite quantité de sable tamisé.

Ils seront comptés à la pièce suivant leurs dimensions ; ceux qui pourront être faits en même temps que la construction ne seront pas comptés à l'entrepreneur. L'ingénieur sera juge de ce cas.

Art. 106. — Les *chapes* seront composées d'une couche de mortier de ciment et sable, laquelle sera réglée, en cours d'exécution, suivant l'épaisseur que déterminera l'ingénieur.

Cette couche sera préservée d'une dessiccation trop prompte au moyen de paillassons. Les chapes devront être recouvertes par les remblais aussitôt qu'elles ne se laisseront plus déformer par la pression du doigt.

Art. 107. — La *maçonnerie en briques*, soit du pays, soit de Bourgogne, sera faite en briques de même échantillon et entières ; elles seront

trempées dans l'eau, et au fur et à mesure qu'on les mettra en œuvre, posées alternativement en panneresses et boutisses à liaison suffisante, à bain de plâtre ou mortier soufflant de toutes parts.

L'entrepreneur sera tenu d'employer du plâtre ou du mortier, suivant ce qui lui sera ordonné.

Les maçonneries pour cloisons ou languettes de cheminées en briques posées à plat ou de champ seront exécutées avec les mêmes soins.

Art. 108. — Toutes les maçonneries de briques seront mesurées au mètre cube lorsqu'elles excéderont 0m,22 d'épaisseur; celles de 0m,22 et au dessous seront mesurées au mètre carré; tous les vides seront déduits dans l'un et l'autre cas.

§ 2. *Légers ouvrages.* — Art. 109. — Les *tuyaux pigeonnés et languettes de cheminées* seront en plâtre pur, de 0m,081 d'épaisseur, pigeonnés à la main, enduits en dedans au fur et à mesure qu'on les élèvera, et, ensuite, enduits à l'extérieur en plâtre au sas; ils seront liés dans les murs, qui seront refouillés à cet effet.

Les arêtes seront vives et conduites à plomb en suivant le rampant des tuyaux. Les fermetures seront ornées de plinthes et recouvertes de mitres. Lesdites languettes de cheminées seront mesurées au mètre carré. Les fermetures et mitres seront payées à la pièce.

Art. 110. — Les tuyaux en grès pour ventouses, conduites d'eau, tuyaux, devant remplacer les branchements particuliers, tuyaux de descente et fosses d'aisances seront bien cuits, sans fêlures, d'un diamètre égal et s'emboîtant bien les uns dans les autres, sur une profondeur d'au moins 0m,03. Pour les descentes en égout, les tuyaux proviendront de l'usine Doulton ou de l'usine Godin et Delaherthe, à la Chapelle-aux-Pots (Oise), ou de tout autre donnant des produits équivalents.

Art. 111. — Les *bardeaux* devront être en chêne refendu sans aubier et de la meilleure qualité; ils auront 0m,04 de largeur et 0m,007 d'épaisseur au minimum, et seront d'une longueur suffisante pour reposer sur deux solives au moins.

Art. 112. — Les *lattis* seront en cœur de chêne, bien sec, sans nœud ni aubier. Ils auront 0m,033 de largeur et 0m,004 d'épaisseur au minimum.

Ils seront toujours solidement cloués sur les solives ou chevrons, au moyen de clous en fer doux, déliés et à tête plate, ayant 0m,002 d'épaisseur, et au moins 0m,025 de longueur.

Il y a deux espèces de lattis :

1° Le lattis jointif où l'intervalle entre les lattes ne doit être nulle part de plus de 0m,01;

2° Le lattis espacé où les lattes doivent être clouées de manière que le plein soit égal au vide.

Art. 113. — Les *bandes de trémie* supportant les âtres de cheminées seront hourdées en plâtre, portées sur des barres de fer etre tenues au pourtour des solives par de forts rappointis. Le dessous sera enduit très proprement.

Lesdites bandes seront mesurées au mètre carré, sans déduction du vide des tuyaux de cheminées qui pourront passer à travers.

Art. 114. — Les *scellements de lambourdes* avec chaînes et augets pleins en gorge, ainsi que les *entrevous* seront faits en plâtre pur passé

au sas, soigneusement cirés à la truelle pour empêcher les gerçures, et payés, les premiers, suivant les dimensions du plancher auquel ils doivent servir, et les derniers suivant leur surface réelle.

Art. 115. — Les *aires de planchers* seront faites en *plâtre*, sur bardeaux ou sur lattis jointifs cloués sur chaque solive; elles auront 0m,041 d'épaisseur.

Art. 116. — Les *pans de bois*, les *cloisons en charpente* et les *cloisons légères* en menuiserie, seront hourdés en plâtras et plâtre pur, lattés des deux côtés, le lattis espacé de 0m,10 sur chaque face, crépis et recouverts d'un enduit en plâtre passé au sas; on aura soin, avant de hourder les cloisons et pans de bois, d'en hacher le bois et d'y enfoncer des rappointis à distance suffisante pour que le plâtre forme liaison avec les bois.

Les cloisons creuses seront faites comme les plafonds ci-après décrits.

Art. 117. — Les *plafonds* seront faits en plâtre pur passé au sas, bien dressés de niveau avec cueillies d'arêtes au pourtour, et auront 0m,041 d'épaisseur ; ils seront, soit sur lattis jointifs, soit sur lattis espacés de 0m,10 avec auget plat, de 0m,027 d'épaisseur.

Art. 118. — Les *corniches et saillies*, tant extérieures qu'intérieures, seront faites en plâtre pur, traînées au calibre et conformes aux profils qui seront donnés à l'entrepreneur.

Art. 119. — Les *solins*, *lézardes*, *crevasses*, etc., devront être faits en plâtre passé au sas et soigneusement cirés à la truelle pour éviter les gerçures.

Les lézardes sur mur seront rebouchées soigneusement en introduisant, au moyen d'un fer, le mortier de ciment jusqu'au fond des crevasses.

Celles sur plafond seront refaites en bonne liaison avec le reste du plafond.

Art. 120. — Les *tuyaux de descente* de latrines et de ventouses seront en grès ou en fonte, bien emboîtés les uns dans les autres, retenus par des colliers en fer scellés le long des murs et recouverts d'une chemise en plâtre pur proprement enduité.

Art. 121. — Les *sièges d'aisances* seront en bois ou en pierre, les cuvettes de ces sièges seront en grès ou en fonte, bien scellées au ciment, et seront payées à la pièce, quelles qu'en soient les dimensions.

§ 3. *Carrelage.* — Art. 122. — Les *carreaux* seront de la meilleure qualité et des dimensions appropriées aux réparations auxquelles ils seront destinés; ils seront de Bourgogne, de Beauvais, de Montereau ou de pays, suivant les ordres qui seront donnés.

Art. 123. — On les posera avec le plus grand soin, sur forme à bain de plâtre, mêlé d'un tiers de poussier passé au tamis, sur une aire ou forme faite en gravois ou recoupe de pierre passée au panier, bien dressée suivant les niveaux. Les *joints* seront bien égaux et bien garnis, les surfaces bien planes.

Art. 124. — On comptera les *carreaux comme employés en recherche*, toutes les fois que l'on n'aura pas relevé une superficie d'au moins 2 mètres carrés.

CHAPITRE V. — Charpente

Art. 125. — Les *bois* seront en chêne ou en sapin du Nord, suivant les prescriptions de l'ingénieur : ils devront avoir au moins trois ans d'abatage, être droits et sains, sans pourriture ni nœuds vicieux ; ils ne seront échauffés, gras, gélifs, ni tranchés dans leurs fils. L'aubier et l'écorce devront être enlevés avec soin, même pour les bois à employer sous l'eau.

Art. 126. — Quand les bois ne seront pas refaits sur les faces, le maximum de largeur des planches sera de 0m,04 mesuré sur le pan coupé. Il sera réduit à 0m,02 quand les bois seront refaits. Ces derniers auront leurs faces dressées exactement à la bisaiguë. Quand les bois devront être refaits à la varlope, il ne sera point souffert de flâche, quelque petite qu'elle soit, et les arêtes devront être parfaitement vives et nettes.

Art 127. — L'entrepreneur fournira, suivant les indications qui lui seront données, les bois qui seront nécessaires pour réparations ou reconstructions.

Art. 128. — L'entrepreneur tiendra également à la disposition de la ville, et suivant les réquisitions qui lui en seront faites :

1° Des bois bruts pour *étrésillonnements ;*

2° Les *goutières*, *barrières*, *cintres* et *couchis* nécessaires à chaque atelier.

Il transportera ces bois sur l'atelier ; il les posera et les déposera à la demande de l'ingénieur.

Les prix relatifs au premier emploi comprennent :

1° La location des bois pour une durée de trois mois ;

2° Le transport, le déchet, la pose et la dépose. Ces bois seront de bonne qualité, mais il n'est pas exigé qu'ils soient neufs.

Les réemplois successifs jusqu'à l'expiration de la période de trois mois ne donneront lieu à aucun nouveau paiement comme location : on ne paiera plus pour chacun d'eux que le second élément du prix d'ensemble indiqué ci-dessus (transport, déchet, pose et dépose).

Lorsque la location se prolongera au-delà de trois mois, elle sera payée au mois ; tout mois commencé sera dû ; les réemplois continueront à être payés comme dans la première période. L'Administration aura la faculté, à tous moments, de devenir propriétaire des bois loués, moyennant paiement à l'entrepreneur de la différence entre leur valeur, d'après les prix du bordereau et les sommes déjà payées pour la location proprement dite.

Art. 129. — Tous les bois demeureront à la charge de l'entrepreneur, et, s'il en était enlevé ou s'il en restait dans les fouilles, l'Administration n'en tiendrait aucun compte, à moins qu'ils n'eussent été laissés par ordre de l'ingénieur. Dans ce cas ils seraient payés aux prix du bordereau, déduction faite, comme il est dit à l'article précédent, des sommes déjà comptées pour leur location.

Art. 130. — Les *bois qu'il faudra déplacer* pour débarrasser la voie publique pendant les travaux seront enlevés aux frais de l'entrepreneur, qui sera également tenu, si besoin est, de les ramener à pied-d'œuvre pour y être réemployés.

Art. 131. — Dans les *évaluations des travaux de charpente* pour étaiement des tranchées des galeries neuves comptées au mètre cou-

rant, les bois seront comptés à forfait, d'après les dimensions moyennes suivantes :

Les plats-bords et les couchis pour 0m,30 de largeur ;

Les étrésillons des égouts, jusqu'à 2 mètres de largeur aux naissances, pour 0m,14 d'équarrissage ;

Les étrésillons de 2 mètres à 3 mètres de largeur aux naissances, pour 0m,16 d'équarrissage

Les étrésillons de 3 mètres à 4 mètres de largeur aux naissances, pour 0m,18 d'équarrissage ;

Les étrésillons au-dessus de 4 mètres de largeur aux naissances, pour 0m,20 d'équarrissage.

Les plats-bords seront supposés espacés entre eux, moitié plein, moitié vide, sur les parois de la tranchée, jusqu'à 1 mètre au-dessus du fond. Les formes seront comptées comme espacées de 2 mètres d'axe en axe.

Toutefois l'entrepreneur ne pourra pas se prévaloir de ces dimensions et quantités pour réclamer un supplément de prix dans le cas où il serait nécessaire de dépasser le nombre et les dimensions ci-dessus spécifiés, qui représentent des quantités moyennes.

Art. 132. — Les prix de charpente seront applicables aux bois non refaits de toutes dimensions et aux bois refaits qui auront au moins 1 décimètre carré de section transversale. Au-dessous de cette dimension, les bois refaits seront payés comme menuiserie.

CHAPITRE VI. — Menuiserie

§ 1er. *Qualité des matériaux.* — Art. 133. — Les bois devront être flottés et avoir au moins trois années de débit; ils seront parfaitement sains et secs, sans aubier, nœuds vicieux, gerçures, piqûres, roulures ou autres défauts.

Tous les bois refusés seront marqués et enlevés du chantier par l'entrepreneur, et à ses frais, dans les 48 heures. En cas d'inexécution, l'enlèvement sera fait d'office aux frais de l'entrepreneur.

Art. 134. — Les *bois de bateau* en chêne ou en sapin, planches ou chevrons, seront de la première qualité, bien secs et sans aubier; ils ne seront employés en construction que sur l'ordre de l'ingénieur.

Art. 135. — Les *chênes* seront tirés de la Champagne, de la Lorraine, de la Bourgogne et du Nivernais. Ceux du Bourbonnais seront formellement interdits; ils ne pourront être employés que sur un ordre spécial.

Il ne sera employé que du sapin de Lorraine ou du Nord; les sapins d'autres provenances ne seront pas admis.

§ 2. *Modes d'exécution des ouvrages, de métrage et d'application des prix.* — Art. 136. — Les parements bruts seront bien affleurés ; ceux corroyés seront parfaitement dressés, de manière à ce qu'il ne reste ni trace de sciage, ni flâche ; les rives seront bien droites et non épaufrées.

Dans les parties assemblées, les tenons et mortaises seront bien ajustés ; dans les parties d'onglet, les coupes seront franches, bien raccordées et à joints parfaits.

Les embrèvements seront faits avec soin et assez profondément pour que les languettes ne sortent jamais des rainures; dans les portes à grands cadres, de forte épaisseur, les bâtis et les cadres seront à double rainure.

Tous les bois devront être mis en œuvre et les menuiseries entièrement confectionnées dans le chantier des travaux, à moins d'autorisation spéciale de l'ingénieur.

Art. 137. — Les parties de *menuiserie* comptées *au mètre superficiel* seront mesurées selon leur surface réelle en œuvre, quel que soit le déchet qu'aient pu subir les bois par suite de la mise en œuvre ou de la pose.

Tous les vides seront déduits, à l'exception de ceux destinés à recevoir les verres dans les châssis, croisées et portes-croisées.

Art. 138. — On comprendra sous le titre de *parties unies* les ouvrages confectionnés en planches entières ou en frises, tels que cloisons, tablettes, portes et planchers. Toutes ces parties seront payées aux prix fixés par la série, soit pour le sapin, soit pour le chêne, mais sans aucune plus-value pour difficulté de façon ou de pose. Aux parties rainées de forte épaisseur, en chêne ou en sapin, les languettes rapportées seront toujours en chêne.

Art. 139. — Les parties unies faites en frises, à l'exception du parquet, seront payées 3/20 de plus que les parties unies en planches entières.

Dans ces mêmes parties, les baguettes poussées sur les joints seront comptées séparément aux prix fixés par la série.

Art. 140. — Les parties unies circulaires en plan seront payées un 1/2 en plus des parties droites ; celles circulaires en élévation seront comptées seulement pour leur surface réelle, sans aucune plus-value.

Art. 141. — Les planchers ordinaires, soit en chêne, soit en sapin, seront joints à rainures et languettes, blanchis d'un côté ; chaque planche sera attachée par trois clous à tête perdue sur chaque lambourde.

Quant aux planchers d'espèces différentes, ils seront exécutés d'après les indications données par l'ingénieur ; il en sera de même pour tous les ouvrages qui ne seront pas prévus dans le présent article. Ces planchers seront mesurés au mètre superficiel.

Art. 142. — Les planchers de frises seront formés de planches refendues également de manière à présenter à la vue (languettes non comprises) une largeur complète de 0m,11. Les planches seront bouvetées et les joints chevauchés ; chacune sera attachée à chaque lambourde par quatre clous inclinés dans le champ du bois de manière à ne pas paraître sur le plancher. Les extrémités des planches devront poser sur le milieu des lambourdes.

Les planchers et parquets en frises seront mesurés en œuvre, déduction faite des vides, saillies ou emplacements des foyers, colonnes, bouches de chaleur, etc.

Dans les parquets à l'anglaise, les extrémités des frises, formant joints à travers bois, devront être réunies à rainures et languettes ; les parquets faits sans cette précaution seront refusés et refaits aux frais de l'entrepreneur, qui supportera les dépenses de toute nature auxquelles le travail pourra donner lieu.

Art. 143. — Les *planchers à point de Hongrie* seront posés suivant la longueur et les dessins fournis par l'ingénieur.

Art. 114. — Seront confondus sous la dénomination de *châssis*, tous les châssis ordinaires ou à la grecque, à compartiments réguliers ou

irréguliers, ouvrant ou non, quelle que soit la largeur des battants et traverses, ravalés de moulures simples ou de luxe, sur une ou plusieurs faces, les petits bois disposés pour grands ou petits carreaux et compris toutes feuillures, rainures, embrèvements, etc., sur un ou plusieurs sens.

Les châssis seront mesurés selon leur surface réelle en œuvre sans déduction des verres; ils seront en chêne ou en sapin, moulures à un parement. Au-dessus de deux carreaux par mètre superficiel, il sera ajouté, pour chaque carreau en plus, $0^{m2},05$ à la surface.

Les châssis à la grecque, assemblés biais ou ceux à compartiments irréguliers seront payés 5/10 en plus des châssis ci-dessus.

Les châssis à la grecque assemblés d'équerre ne donneront lieu à aucune plus-value autre que celle du nombre de carreaux par mètre superficiel.

Les châssis sans moulures seront payés 1/20 en moins que ceux avec moulures,

Les châssis à moulures sur deux parements donneront lieu à une plus-value de 1/10.

Les prix de la série étant établis pour des châssis sans dormants, les dormants des châssis seront développés et comptés au mètre linéaire, comme bâtis à 4 parements (*les assemblages en plus de un par mètre comptés séparément*). Quand les dormants seront comptés dans la surface des châssis, les prix desdits châssis seront augmentés de 1/10.

Les châssis sans petits bois qui produisent un mètre superficiel et au dessus seront comptés au mètre linéaire aux prix des bâtis à 4 parements.

Art. 145. — Les *cloisons* qui devront être *hourdées* et recouvertes d'un enduit en plâtre seront faites en planches brutes de bateau refendues en deux, espacées tant plein que vide, clouées en leur milieu, si besoin est, contre des entretoises, et arrêtées haut et bas dans des coulisses de 8 centimètres d'épaisseur sur 5 centimètres de hauteur environ; elles seront mesurées au mètre superficiel, mises en place, déduction faite des ouvertures, mais non des poteaux qui pourraient y être renfermés. Les entretoises seront blanchies du côté apparent et assemblées à queue d'aronde dans les poteaux montants; elles seront payées à part, ainsi que les poteaux montants, coulisses, huisseries, des portes, etc.

Art. 146. — Les *cloisons en planches*, soit de chêne, soit de sapin, seront blanchies des deux côtés, jointes à rainures et languettes et scellées dans les planchers, carrelages ou plafonds; elles seront mesurées au mètre superficiel, tous vides déduits et toutes fournitures comprises, clous, etc. Les coulisses dans lesquelles elles sont ordinairement assemblées haut et bas seront payées séparément comme bois avec assemblages; les traverses, huisseries de portes, chambranles, plinthes, cimaises, corniches, etc., dont on pourrait vouloir les orner, seront également payées séparément, selon leur espèce, et au prix qui en seront donnés dans la menuiserie au mètre linéaire.

Art. 147. — Les *portes* seront faites en *planches de chêne*, blanchies des deux côtés, jointes à rainures et languettes avec clefs et emboîtées par les extrémités en chêne de même épaisseur.

Les portes placées à l'extérieur auront dans le bas, au lieu d'une emboîture, une barre à queue d'aronde entaillée de 5 millimètres de profondeur dans toute la longueur de ladite porte. Ces barres ne seront pas comptées séparément, attendu qu'elles tiendront lieu d'une emboîture.

Les portes seront mesurées au mètre superficiel, compris l'encadrement, les clous et toute main-d'œuvre et fourniture.

Les jets d'eau, lorsqu'il aura été ordonné d'en placer, seront comptés séparément au mètre linéaire, comme bois blanchi avec ou sans assemblage, lorsqu'ils seront entaillés dans la porte ou simplement cloués.

Art. 148. — Les *portes*, *contrevents*, *volets*, *etc.*, *en sapin*, seront toujours emboîtés en chêne par les extrémités, joints à rainures, languettes et clefs, proprement corroyés des deux côtés et fortifiés par une ou deux barres en chêne; ils seront payés au mètre superficiel, compris clous, barres et généralement toute main-d'œuvre et fourniture; les jets d'eau seront comptés et payés comme à l'article précédent.

Art. 149. — Les *portes cochères* seront faites en chêne avec le plus grand soin, corroyées des deux côtés avec moulures et selon les dessins qui seront donnés; elles seront encadrées en entier par de gros bâtis de rive solidement assemblés entre eux et avec les bâtis des guichets, qui seront de moindre dimension; les panneaux seront collés et assemblés à rainures et languettes.

Pour les grandes portes cochères dont les gros bâtis de rive devront avoir de plus fortes dimensions, il y aura, en outre, des cadres de la même épaisseur que les bâtis des guichets, et les panneaux pourront être exigés à pointe de diamant ou de parquet.

Les *portes charretières* seront faites en chêne, suivant les dessins qui en seront donnés par l'ingénieur; elles seront corroyées des deux côtés sans moulures.

Ces diverses portes seront payées au mètre superficiel à des prix différents et d'après la série.

Art. 150. — Les *cloisons et les portes vitrées* seront mesurées de la manière suivante :

Dans les cloisons et les portes à un vantail, la partie haute comme châssis, et dans les portes croisées à deux vantaux, la partie haute comme croisée, les portes basses, comme lambris de l'espèce à laquelle elles appartiendront.

Le milieu de la traverse séparant la partie basse des parties vitrées déterminera la division des parties.

Art. 151. — Les *croisées* seront en bois de chêne bien sain et sans défaut, corroyées de toutes faces et assemblées à tenons et mortaises.

Elles seront mesurées selon leur surface réelle, sans déduction du vide des verres; elles seront moulurées à un parement et sans petits bois.

Pour chaque traverse de petits bois et chaque rang montant par vantail, il sera accordé la plus-value prévue à la série.

Aux croisées au-dessous de 1m,70 de hauteur, il sera ajouté à la hauteur 0m,03, pour chaque 5 centimètres de hauteur en moins.

Chaque angle arrondi intérieur d'une croisée donnera lieu à une plus-value fixée à la série.

Les croisées moulurées aux deux parements donneront lieu à une plus-

value de 1/20 sur les prix des croisées moulurées à un seul parement.

Art. 152. — Les *portes-croisées* seront également comptées pour leur surface réelle; les parties vitrées seront mesurées jusqu'au milieu de la traverse d'appui et comptées comme croisées. Les parties d'appui seront mesurées dans œuvre des dormants du dessous de la traverse du bas ou jet d'eau, jusqu'au milieu de la traverse d'appui, pour être payées au prix de l'espèce de lambris à laquelle elles appartiendront. Les battants dormants dans la hauteur des parties d'appui seront comptés au mètre linéaire et payés au prix des bâtis à 4 parements.

Les excédents d'épaisseur des battants, moutons et gueules-de-loup, toujours dans la hauteur des parties d'appui, seront obtenus en établissant la différence entre l'épaisseur desdits battants et celle des lambris, pour être comptées, d'après leur largeur réelle, au mètre linéaire, et payées au prix des chambranles ravalés.

Les jets d'eau qui seraient placés au bas des portes-croisées ne donneront lieu à aucune plus-value, en compensation de leur absence à la partie haute comptée comme croisée, dont les prix comprennent la valeur des jets d'eau.

Les arrêts des moulures, feuillures, rainures pour les appuis des portes-croisées et cloisons vitrées, seront comptés séparément.

Art. 153. — Les *persiennes* seront en chêne, les bâtis en planches d'échantillon, les lames en feuillets, solidement fixées aux montants par embrèvements et avec des pointes à chaque bout.

Elles seront comptées selon leur surface réelle, les prix selon les indications de la série comprennent la valeur des moulures, feuillures et baguettes de fermeture.

Les persiennes au-dessous de 0m,45 de largeur donneront lieu à une plus-value de 1/25 du prix de la série pour chaque centimètre de largeur en moins.

Art. 154. — Les *jalousies* seront en planches très minces, de chêne. Ces jalousies, garnies de cordes et rubans dits tirants de bottes ou de chaînettes étamées, composées de lames, tête et pavillon chantournés, seront comptées suivant leur surface sans développement des têtes et pavillons.

Art. 155. — Pour *châssis d'imposte* ouvrant ou non, on ajoutera 0m,25 à la hauteur réelle d'une croisée, persienne ou porte-croisée, pour la traverse d'imposte qui les divise en deux parties sur la hauteur. Cette plus-value comprendra la valeur des doubles traverses et de celles de l'imposte.

Pour châssis d'imposte ouvrant ou non, mais avec traverse d'imposte, plus épaisse que les dormants, portant moulures et flottage sur dormants, on ajoutera 0m,30 à la hauteur réelle d'une croisée, persienne ou porte-croisée; cette plus-value comprendra la valeur des doubles traverses, de la traverse d'imposte, des moulures, flottages et tous ajustements quelconques.

Pour châssis d'imposte ouvrant, on ajoutera 0m,35 à la hauteur réelle d'une croisée, persienne ou porte-croisée pour la traverse qui les divise en deux parties sur la hauteur. Cette plus-value comprendra la valeur des doubles jets d'eau et pièces d'appui ornées on non de moulures et celles de tous flottages et assemblages nécessaires.

Pour châssis ouvrant dans le milieu d'un petit bois sur la hauteur

d'une croisée, il sera ajouté, à la hauteur réelle de la croisée, 0m,10.

Art. 156. — Pour les *châssis vitrés*, croisées et portes-croisées, *circulaires en plan*, compris tous les assemblages, la surface réelle sera comptée une fois en plus; pour les persiennes une fois et demie.

Pour les croisées, portes-croisées, châssis et persiennes *circulaires en élévation* ou cintrées en archivolte, y compris tous les assemblages quelconques, tels que traits de Jupiter, enfourchements, trompillons, traverses et battants rayonnants, la surface réelle de la partie cintrée seule sera comptée une fois de plus.

Lorsqu'une partie en élévation cintrée ne produira pas 0m,30 de surface, il sera ajouté 0m,20 à la hauteur réelle des croisées, châssis ou persiennes.

Les ouvrages circulaires à double courbure seront comptés le double de ceux cintrés à simple courbure.

Art. 157. — Seront compris sous la dénomination de *lambris d'assemblage unis* ceux dont les bâtis seront corroyés et embrevés, avec les panneaux ; ils seront payés au mètre superficiel suivant leur exécution, qu'ils soient arasés ou à glace, selon la nature des bois employés pour les bâtis et les panneaux, et eu égard au travail exécuté pour le deuxième parement; il sera tenu compte des plus-values accordées par la série pour excédents de panneaux par mètre superficiel, pour plus d'épaisseur de panneaux pour plates-bandes simples, à gorges ou à moulures pour flottages, etc.

Art. 158. — Seront compris sous la dénomination d'*assemblage à petits cadres* ceux dont les bâtis seront ravalés d'une ou plusieurs moulures formant petits cadres; ils seront payés au mètre superficiel suivant l'épaisseur des bâtis et des panneaux et eu égard à l'exécution de leur deuxième parement; selon que ce deuxième parement sera brut, blanchi à glace, arasé ou à petits cadres, il sera tenu compte, comme aux lambris d'assemblage unis, des diverses plus-values accordées par la série.

Art. 159. — Les *lambris d'assemblage à grands cadres* seront composés de bâtis ravalés de moulures élégis en saillie, ajustés à tenons et d'onglet dans la largeur du profil et embrevés avec les panneaux ; ou de bâtis assemblés à tenons et de cadres assemblés d'onglet embrevés sur les deux rives avec les bâtis et les panneaux ; les lambris d'assemblages à grands cadres ainsi définis seront payés au mètre superficiel, suivant les épaisseurs et largeurs de leurs bâtis, cadres et panneaux, et suivant les dispositions adoptées pour l'exécution de leur deuxième parement, selon qu'il sera brut, à glace, arasé à petits cadres ou à grands cadres. Il sera tenu compte, comme aux lambris précédents, des diverses plus-values accordées par la série.

Art. 160. — Ne seront jamais considérés comme *lambris à petits cadres ou à grands cadres* ceux dans lesquels les *moulures* seront *rapportées* à feuillures ou à plat sur les panneaux ; dans ce cas, les moulures seront comptées au mètre linéaire, ainsi qu'il sera dit ultérieurement, et les lambris, sur lesquels elles se trouveraient appliquées, seront payés, selon leur nature, au mètre superficiel, aux prix indiqués à la série.

Art. 161. — Les *lambris*, quels qu'ils soient, *cintrés en plan ou en*

élévation, seront comptés une fois de plus de leur surface réelle, c'est-à-dire deux fois en tout.

Les lambris à double courbure seront comptés trois fois en plus de leur surface réelle, c'est-à-dire quatre fois en tout.

Lorsqu'une partie circulaire en élévation ne produira pas $0^{m2},30$ de surface, il sera ajouté $0^{m},20$ à la hauteur réelle de ces parties.

Art. 162. — Les *lambris biais*, compris tous les assemblages et embrèvements de panneaux, seront comptés 3/10 en plus de la surface réelle de la partie biaise seulement.

Art. 163. — Les parties de *lambris ayant moins de* $0^{m2},60$ de surface donneront lieu aux plus-values indiquées à la série; toute partie de moins de $0^{m2},12$ de surface sera comptée pour $0^{m2},12$.

Art. 164. — Les *battants* ou *traverses* en chêne des châssis, portes vitrées, croisées, porte-croisées, persiennes et lambris dépassant une longueur de $3^{m},75$, donneront lieu à la plus-value indiquée à la série.

Art. 165. — Les prix des *ouvrages en menuiserie polie de chêne* dit de Hollande ou en chêne de premier choix, assemblé d'onglet, collé, préparé au poli seront augmentés de 1/4 à 1/2 suivant la qualité du bois et la perfection du travail.

Les parties unies, un quart en sus des prix de la série.

Les lambris d'assemblages unis, ceux à petits cadres et toutes autres parties de menuiserie portant moulures, 1/3 en sus des prix de la série.

Les lambris à grands cadres, moitié en sus du prix de la série.

Ces plus-values comprennent tous les collages en général.

Art. 166. — Les divers objets *au mètre linéaire* seront faits en bois sec, sans aubier et surtout sans nœuds; ils seront mesurés dans leur largeur réelle, clous et toute fourniture et main-d'œuvre compris, selon leur espèce et leur dimension, soit en épaisseur, soit en largeur, pour laquelle on ajoutera ou on diminuera les plus-values portées au bordereau.

Pour tous les ouvrages à compter au mètre linéaire, la plus petite dimension sera toujours prise pour épaisseur, la plus ou moins-value ne devant être appliquée que sur la largeur.

Pour ceux dont les dimensions ne seraient pas énoncées au bordereau, mais qui seraient néanmoins prescrits, ils seront assimilés à des bois présentant la même section ou payés à des prix moyens au choix de l'ingénieur.

Quant à ceux dont les dimensions (à moins d'ordre spécial écrit) ne seraient pas comprises dans celles des ouvrages portés au bordereau, ils seront assimilés à ceux de dimensions immédiatement inférieures.

Les chevrons, barres, tringles, fourrures, lambourdes, champs, bâtis, huisseries, poteaux, entretoises, coulisses, baguettes, plinthes, cimaises, corniches, cadres rapportés, chambranles, etc., jusqu'à $0^{m},20$ de largeur seront mesurés au mètre linéaire.

Art. 167. — Les *bois bruts sans assemblage* comprennent les barres, chevrons, lambourdes, fourrures, soliveaux, tringles, couvre-joints non corroyés, etc., coupés de longueur seulement, cloués et posés.

Art. 168. — Les *bois bruts avec assemblage* comprennent les barres, bâtis, chevrons non corroyés, mais assemblés à entaille, à sifflet ou à tenons et mortaises.

Toutefois, les deux premiers modes d'assemblage ne seront admis que sur un ordre exprès de l'ingénieur.

Art. 169. — Les *bois corroyés sans assemblage* comprennent bandeaux, champs, plinthes, tringles, etc., corroyés sur une, deux, trois et quatre faces et mis en place avec ajustement.

Art. 170. — Les *bois corroyés avec assemblages* comprennent les bâtis, huisseries, poteaux de remplissage, entretoises et bâtis de tenture.

Les prix de ces ouvrages comprennent la valeur des cales, coupes et hachements nécessaires à la pose.

Aux bâtis en chêne au-dessus de 3m,75 de longueur, il sera ajouté 1/40 de la valeur de ces bâtis pour chaque 0m,25 de longueur en plus de 3m,75.

Lorsque les bâtis ne seront pas visibles, tels que ceux placés sur les lits de camp, les estrades et les amphithéâtres, ils seront considérés comme bâtis bruts.

Les entretoises et poteaux de remplissages bruts, perdus dans les plâtres, seront considérés comme bâtis bruts.

Art. 171. — Les *bois corroyés et rainés* comprennent les coulisses, alaises, frises de parquet, pilastres, avant et arrière-corps, etc.

Les prix de ces divers ouvrages, à l'exclusion des coulisses et frises de parquet, comprennent la valeur du collage.

Art. 172. — Il ne sera fait aucune distinction entre les *tasseaux* en chêne ou en sapin; chanfreinés ou non, ces tasseaux seront payés indistinctement aux prix de la série.

Art. 173. — Les *ouvrages en bois moulurés non rainés* comprennent les bordures, cimaises, corniches d'un seul morceau, les moulures figurant chambranles, etc., les cadres figurant panneaux cloués et posés.

Les cadres posés en plafond donneront lieu à une plus-value de 1/10.

Les feuillures, rainures et languettes poussées sur les moulures et les cadres ci-dessus indiqués seront comptées séparément et payées au prix des feuillures, fixé à la série.

Les ouvrages en bois moulurés seront mesurés suivant leur plus grand développement à l'extérieur du profil.

Art. 174. — Les *corniches* en plusieurs parties réunies au moyen de rainures d'embrèvement seront désignées sous le nom de *corniches volantes*. Chaque partie sera mesurée séparément suivant son épaisseur et sa largeur. Toute partie non embrevée sera réputée moulure et payée au prix fixé pour ce genre de travail.

Art. 175. — Les *chambranles* assemblés à tenons, *ravalés* de moulures, quel que soit le profil et embrevés à rainures et languettes seront mesurés sur le plus grand développement du profil. Les socles placés au bas de ces chambranles seront ajoutés à leur développement sans augmentation ni diminution de prix.

Art. 176. — Pour les *ouvrages* de faible épaisseur, pouvant être *ployés* au moyen de traits de scie, le développement sera augmenté d'un cinquième.

Pour ceux *débillardés* ou *cintrés* sur une rive, la largeur prise à la plus grande dimension sera augmentée d'un dixième.

Enfin, pour ceux débillardés et cintrés sur les deux rives et compris

tous assemblages nécessités pour les jonctions, la longueur réelle sera doublée, c'est-à-dire qu'il sera ajouté une fois en plus.

Art. 177. — Les *ouvrages cintrés à double courbure* seront comptés le double de ceux à simple courbure.

Art. 178. — Pour les *ouvrages préparés au poli en chêne* de premier choix, mesurés au mètre linéaire, les prix seront comptés de 1/4 à 1/2 en plus, suivant le choix du bois et la perfection de la main-d'œuvre. Cette plus-value comprend les assemblages d'onglets collés et tous les collages en général.

Art. 179. — Les *mains-courantes* seront mesurées suivant leur plus grand développement, et leur longueur comprendra le pourtour de la volute jusqu'à sa jonction avec la rive du pourtour intérieur.

Il sera alloué en plus-value pour chaque volute 0m,30 à la longueur.

Les différences de largeur et d'épaisseur dans les profils desdites mains-courantes, ainsi que les incrustations qui pourraient y être faites, ne pourront donner lieu à d'autres plus-values que celles indiquées à la série ; les prix comprennent la fourniture des vis nécessaires à la pose.

La largeur et l'épaisseur seront prises dans les dimensions les plus fortes du profil, volute non comprise.

Les prix des mains-courantes comprennent les doubles profils. En conséquence, les baguettes prises dans la masse en plus du profil, ainsi que les membres de moulures en sus de la gorge, ne seront comptés que suivant le développement de la main-courante sans la plus-value des volutes.

Art. 180. — Les *ouvrages à la pièce*, tels que arrêts de chanfreins, arrondissements d'angles de tablettes, assemblages divers, coupes refouillées pour développement de plinthes, cimaises ou stylobates, etc., et tous autres ouvrages analogues, seront payés aux prix particuliers fixés à la série. Les tiroirs seront mesurés à l'équerre.

Art. 181. — Préparation de petits bois, battants, etc., comprend tous les objets de menuiserie entrant dans la réparation des croisées. Il ne sera rien payé en plus pour démontage et remontage de châssis réparés.

Art. 182. — Les prix de *dépose* d'ouvrages ne seront dus que pour les objets cloués et assemblés que l'entrepreneur devra entièrement démonter, et non pour les portes et croisées qu'il n'aurait qu'à enlever de leurs gonds, et pour lesquelles il ne sera rien accordé.

Art. 183. — Le prix du *transport* et rangement dans un magasin des objets démontés sera le même, quelle que soit la distance où il faille les transporter.

Ce prix ne devra être payé, pour les objets à remettre en œuvre, que lorsque le lieu où ils devront être employés sera dans un autre établissement que celui d'où on les aura retirés.

Art. 184. — Les prix d'*ouvrages en bois fournis par la ville* ne devront être payés à l'entrepreneur que lorsque le bois fourni par la ville devra servir à un ouvrage autre que celui où il avait été précédemment employé ; dans le cas contraire, les objets confectionnés ne seront payés que comme réparations de menuiserie.

Les ouvrages en bois fournis par la ville seront faits avec le même soin que ceux en bois neuf ; les parties pourries seront enlevées, les

clous arrachés, les trous rebouchés. Ils seront mesurés au mètre superficiel ou linéaire, suivant l'espèce, et toute fourniture de clous, colle, etc., comprise.

§ 3. *Dispositions spéciales.* — Art. 185. — Toutes les menuiseries devront être déposées dans un local déterminé avant l'impression et la pose, afin que l'on puisse les examiner sous le rapport de la qualité des bois et de la main-d'œuvre.

Art. 186. — Si, malgré la surveillance de l'ingénieur ou de ses agents, il a été employé, dans la confection des ouvrages, des *bois insuffisamment secs ou imparfaitement travaillés*, ces ouvrages seront remplacés, et l'entrepreneur sera responsable des frais de toute nature qui en seront la conséquence.

Art. 187. — Les *travaux exécutés sans ordre* seront déposés et enlevés si l'ingénieur le juge convenable, et l'entrepreneur sera passible des frais et dommages de toute nature qui résulteraient de leur suppression.

Art. 188. — Si l'entrepreneur exécute, sur la demande des entrepreneurs des autres professions, des règles, panneaux d'épure, calibres, cerces, etc., il ne pourra en réclamer la valeur à l'Administration, ces objets faisant partie des faux frais inhérents à chacune de ces professions.

Art. 189. — Les transports de toute nature, les échafauds, échelles, cordages et les équipages de toute espèce, nécessaires à l'exécution et à la pose de ces travaux, les frais de tracés et d'épures, la fourniture des clous ou des broches au-dessous de 0m,12 de longueur, nécessaires à la confection et à la pose des ouvrages, seront compris dans les différentes natures d'ouvrages et doivent conséquemment rester à la charge de l'entrepreneur.

CHAPITRE VII. — Serrurerie

Art. 190. — Les *ferrures* seront de la meilleure qualité dans l'espèce demandée, liants, nerveux, sans pailles, gerçures et brûlures.

Les *fers aigres*, cassants à froid ou à chaud, seront rejetés.

Les *fers ronds ou carrés*, fers à T et autres fers spéciaux, seront parfaitement dressés, bien calibrés de l'échantillon demandé.

La *quincaillerie* et la *serrurerie* seront de première qualité et devront provenir des meilleures fabriques.

Tous les travaux seront exécutés suivant les règles de l'art et avec le plus grand soin ; les assemblages seront parfaitement ajustés, les fers bien dressés, sans cassure ni jarret.

Art. 191. — Les prix seront appliqués, d'après la nature et la destination des fers, conformément aux spécifications du bordereau. Ils comprendront le transport et la mise en place.

Art. 192. — La résine et le charbon nécessaires pour les *scellements*, même lorsqu'il s'agira de vieux fers simplement séparés, seront à la charge de l'entrepreneur, à qui l'on tiendra compte seulement du plomb et des ferrailles qu'il devra employer à ces scellements.

Art. 193. — Les prix portés dans la série pour *pose et ajustement* comprendront la façon des entailles et l'ajustement des vis, clous et rivets nécessaires à cette pose. Ces différents objets seront pesés avec les pièces desquelles ils dépendront et payés au même prix.

Art. 194. — Quand on emploiera des ferrures dans les ouvrages pro-

visoires en charpente, elles seront payées au prix d'emploi fixé par la série et reviendront, après la démolition, à l'entrepreneur.

Art. 195. — La *réparation des anciennes ferrures* sera faite en régie, sauf les exceptions prévues au cahier des charges spécial à l'entreprise.

CHAPITRE VIII. — Fontes

§ 1er. *Qualité de la fonte.* — Art. 196. — La *fonte* sera de la meilleure qualité, point aigre, bien homogène, susceptible d'être travaillée à la lime, sans aucune fente ni écornure.

Les *châssis et tampons pour trappes de regards* seront fondus en coquilles, les autres pièces dans des moules en sable.

Les pièces auront exactement les formes et les dimensions prescrites.

Pour chaque série de pièces de fonte, il sera exécuté un modèle à Paris, aux frais de l'entrepreneur, sous la surveillance des ingénieurs.

Les modèles seront disposés, dans la prévision du retrait de la fonte, de telle sorte que les pièces moulées présentent les dimensions exactes exprimées aux dessins officiels remis par l'ingénieur à l'entrepreneur.

Tous les *tuyaux droits* seront coulés debout, les tuyaux courbes et autres pièces pourront seuls être coulés dans des moules horizontaux ou inclinés.

Le moulage des tuyaux devra être fait avec des précautions telles qu'il ne se trouve point de bavures à la paroi intérieure de l'emboîtement, ni à la paroi extérieure du bout mâle, ni à celle des brides; toute bavure sera en conséquence burinée avec soin et aux frais de l'entrepreneur.

Pour avoir la certitude que toutes les brides de même diamètre pourront se raccorder, les fournisseurs feront couper des patrons en zinc de toutes les brides qu'ils auront à faire, sur des modèles étalons disposés aux magasins de la ville.

Si les *trous des brides* sont plus petits qu'ils ne doivent être, le fournisseur les agrandira au besoin et à ses frais ; s'ils ne sont pas entre eux à des distances égales, il les rectifiera aussi au burin.

Les tuyaux et autres pièces seront refroidis avec le plus grand soin.

§ 2. *Vérification et réception des fontes.* — Art. 197. — L'entrepreneur sera soumis aux *vérifications à l'usine* que l'Administration jugera convenable d'ordonner pour s'assurer de la qualité de la fonte et pour vérifier si toutes les précautions sont prises, tant pour le parfait dressage des modèles que pour l'ajustement des châssis et pour les soins de moulage et de percement.

Art. 198. — La *réception et l'essai des fontes* auront lieu à l'usine, ou, à défaut, dans les dépôts de la ville de Paris.

L'ingénieur ou l'agent délégué par lui procédera, en présence de l'entrepreneur ou de son représentant, aux vérifications et épreuves suivantes :

L'entrepreneur fera présenter successivement chaque tuyau à la réception et le fera rouler, afin que l'on puisse examiner toute la surface intérieure, reconnaître s'il s'y trouve des chambres ou des soufflures.

On rebutera les tuyaux :

1° Dont on aurait caché des défauts, quels qu'ils puissent être, avec

du plomb, du mastic, ou autrement, ainsi que ceux qui se seraient avariés dans le transport de l'usine au dépôt;

2° Dont l'épaisseur, au lieu d'être uniforme dans tout le pourtour, serait d'un côté plus faible qu'elle ne doit être ;

3° Dont l'emboîtement aurait intérieurement un diamètre plus grand ou plus petit que celui qu'il doit avoir ;

4° Dont l'emboîtement serait ovale au lieu d'être circulaire, et qui présenterait une différence entre deux diamètres perpendiculaires entre eux ;

5° Dont le bout mâle serait plus gros ou plus petit qu'il ne doit l'être.

Il est pourtant accordé, pour les paragraphes 2, 3, 4 et 5 ci-dessus, une tolérance de 0m,003 pour les tuyaux de 0m,10 à 0m,25 de diamètre; de 0m,004 pour les tuyaux plus grands jusqu'à 0m,50 de diamètre, et de 0m,005 pour les tuyaux plus grands jusqu'à 1m,10 de diamètre. L'enlèvement des pièces rebutées sera à la charge du fournisseur, qui sera tenu de les remplacer dans le plus court délai.

Toutes les pièces de fonte seront pesées ; celles qui présenteront les poids prescrits et qui résisteront aux épreuves seront reçues ; celles qui présenteront des poids trop forts seront reçues également. D'ailleurs, si le poids total de la fourniture excédait le total des poids réglementaires de pièces livrées, l'excédent ne serait pas compté au fournisseur.

Si les tuyaux sont plus courts qu'ils ne doivent être, les poids prescrits seront réduits en conséquence.

Tous les frais de pesée, tant des tuyaux que des châssis de fonte et autres pièces, seront à la charge de l'entrepreneur.

L'entrepreneur essaiera tous les tuyaux droits au moyen d'une presse hydraulique qui portera la pression d'épreuve à 15 atmosphères.

Les pièces courbes ne seront pas essayées.

Lorsqu'il y aura suintement ou bouillonnement, quelque faible qu'il soit, et à plus forte raison si l'eau s'en échappe par de petits jets, les tuyaux seront rebutés.

Les frais d'essai de tous les tuyaux à fournir seront à la charge du fournisseur.

L'eau nécessaire pour ces essais, la machine à essayer et le compas d'épaisseur seront fournis à l'usine par l'entrepreneur de la fourniture des fontes, et aux dépôts de la ville par l'Administration.

Il sera dressé de chaque réception un procès-verbal où figurera chaque pièce avec désignation de son numéro d'ordre, de sa longueur et de son poids.

Le numéro d'ordre sera peint à l'huile sur le tuyau, par les soins et aux frais de l'entrepreneur.

Après la réception des tuyaux, si elle a eu lieu à l'usine, l'adjudicataire devra les transporter au lieu de dépôt indiqué, où les agents de la ville en prendront livraison après examen.

§ 3. *Pose de conduites.* — Art. 199. — L'entrepreneur de la pose est chargé de transporter les tuyaux du lieu de dépôt sur les chantiers quand ils n'y sont pas rendus, et de les y prendre pour les mettre en œuvre.

A partir du moment où l'entrepreneur de la pose aura pris les

tuyaux, il deviendra responsable des accidents qui pourront leur arriver.

Avant de mettre en service les conduites nouvellement posées et avant de recouvrir celles qui seront en terre, on y mettra l'eau et on leur fera éprouver, à l'aide d'une pompe de presse hydraulique, une pression équivalente à 8 atmosphères.

On aura soin, dans cet essai, d'arc-bouter le dernier tuyau, et de boucher son extrémité avec un tampon, après que l'air contenu dans la conduite se sera échappé. Cette opération sera faite au compte de l'entrepreneur, qui devra fournir les tampons, la presse hydraulique et tous les outils nécessaires.

L'entrepreneur de la pose sera seul responsable des joints qui ne seraient pas étanches lors de l'essai. Ils seront, dans ce cas, refaits entièrement et soumis à une seconde épreuve équivalente à la première.

Il sera également responsable des pièces de fonte qui casseraient, à moins qu'il ne puisse prouver que leur rupture est due à un défaut de fabrication, auquel cas la responsabilité du fournisseur des fontes sera mise en cause, s'il y a lieu.

CHAPITRE IX. — Peinture et goudronnage

§ 1er. *Nature et qualité des matériaux.* — Art. 200. — Les matières employées dans les travaux de peinture et de goudronnage seront toujours de la meilleure qualité.

Les *blancs de zinc* ou de céruse seront purs et sans aucun mélange.

Le *blanc dit d'Espagne* sera de Bougival, de Meudon ou de qualité équivalente.

Les *colles* de parchemin ou de peaux, suivant le cas, seront fraîches, bien gelées et transparentes.

Les *huiles blanches* dites d'œillette, celles de lin et celles grasses seront bien épurées. Les huiles rances, à quelque degré que ce soit, seront refusées.

L'*essence* sera pure, incolore, parfaitement blanche, limpide et non graissante.

Les *vernis*, qu'ils soient gras ou à l'esprit-de-vin, blancs ou anglais, seront brillants et bien siccatifs.

Art. 201. — Le *goudron minéral* ou *coaltar* sera pur, sans mélange de calcaire, sable ou autres matières hétérogènes et suffisamment liquide pour s'appliquer aisément à froid.

Art. 202. — Le *goudron végétal* sera coulant, de consistance sirupeuse, demi-transparent et d'une couleur rougeâtre. Projeté dans l'eau, il doit lui communiquer une légère teinte rosée et non lactescente.

§ 2. *Mode d'exécution des ouvrages.* — Art. 203. — Tous les *travaux de peinture* seront exécutés suivant les règles de l'art; les couleurs seront bien broyées et non infusées; elles seront bien incorporées avec les huiles ou les colles et appliquées bien également, en ayant soin de laisser sécher chaque couche.

Art. 204. — Les substances entrant dans la composition des peintures ne pourront être mélangées et triturées sans avoir été au préalable reçues par l'ingénieur, qui aura toujours le droit d'exiger la communication des factures et documents de toutes sortes établissant leur provenance et leur qualité.

Art. 205. — Les *mastics* pour les travaux ordinaires seront composés de blancs de Bougival avec addition de céruse pure et d'huile.

Les mastics pour travaux soignés seront composés de blanc de Bougival et de moitié au moins de blanc de céruse pur et d'huile; ils seront recirés dans leur emploi.

Art. 206. — Les *blancs et les teintes claires* seront faits avec de bonne colle de parchemin en suffisante quantité pour qu'ils ne se détachent pas au frottement; les teintes foncées pourront être confectionnées avec de simples colles de peau en quantité suffisante; elles seront généralement composées de trois quarts de couleur broyée à l'eau et d'un quart de colle.

Art. 207. — Les *peintures à l'huile* auront toujours pour base le blanc de céruse ou le blanc de zinc.

Pour les extérieurs, l'huile sera de lin et toujours employée sans essence.

Pour les intérieurs, la première couche, très claire, ne sera composée que d'huile blanche dite d'œillette et de blanc de zinc ou de céruse; pour les autres couches, l'huile blanche sera mélangée d'un tiers environ d'essence de térébenthine et d'huile manganésée ou litharge, dite siccatif.

Art. 208. — Les *travaux préparatoires*, époussetage, grattage, lessivage, rebouchage ou enduit, seront exécutés avec le plus grand soin et conformément aux ordres donnés.

Les *grattages* sur vieilles peintures en détrempe seront faits à grande eau, puis bien éponges après l'achèvement du travail.

Suivant ce qui sera ordonné, les lessivages sur vieilles peintures à l'huile seront faits soit à l'eau seconde coupée, soit à l'eau seconde forte.

Les *rebouchages* seront faits immédiatement après l'assèchement de la première couche, soit à l'huile, soit à la colle; ils seront exécutés en mastic ou bande de papier, et dans ce dernier cas le papier devra être blanc et fort. Il devra être collé avec de la colle forte dont le prix est compris dans celui qui est porté au bordereau pour le rebouchage.

Tout rebouchage sur ouvrage neuf, quand il sera jugé nécessaire, sera au compte de l'entrepreneur.

Art. 209. — Le *blanchissage au lait de chaux* sera fait avec soin et assez épais pour que deux couches suffisent sur les murs salis.

Art. 210 — Les *badigeonnages extérieurs seront* en couleur de pierre de Saint-Leu et devront contenir assez d'alun pour résister aux injures du temps.

Art. 211. — Les *couleurs à la colle* seront employées chaudes, couchées le plus uniformément possible, et suivant le nombre de couches qui sera ordonné.

On appliquera sous les couches à la colle une *couche d'encollage* ou blanc d'apprêt avec rebouchage.

Art. 212. — Il ne sera jamais toléré d'encollage sous les *peintures à l'huile*.

Les couches à l'huile seront suffisamment épaisses; elles seront appliquées autant que possible par un temps sec, surtout à l'extérieur; on ne mettra les secondes couches que quand les premières seront sèches.

Le nombre des couches de peinture à appliquer sera déterminé par un

ordre de service de l'ingénieur ; chaque couche devra être nuancée différemment pour éviter toute fraude à cet égard.

Art. 213. — Le *vernis* qu'on emploiera sur les bancs gris ou couleurs claires sera à l'esprit-de-vin de première qualité ; il sera appliqué soigneusement, suivant les règles de l'art. Celui qui sera appliqué sur les bois, marbres ou couleurs foncées sera de l'espèce dite vernis à bois.

Art. 214. — Le *goudron minéral* ne sera employé que sur l'ordre spécial de l'ingénieur, et généralement sur les bois enfouis, sur les fers et fonte à l'abri des influences atmosphériques et sur les enduits ou chapes en béton des voûtes.

Art. 215. — Les *goudronnages sur bois* seront toujours donnés à trois couches.

Les bois à goudronner seront préalablement bien nettoyés et grattés, puis chauffés jusqu'à parfaite dessiccation ; les joints, fentes ou gerçures seront remplis avec du brai gras.

Le goudron sera appliqué bouillant et suffisamment épais pour bien couvrir le bois. On pourra exiger un demi-kilogramme de goudron par mètre superficiel.

Pour les ouvrages neufs ou susceptibles d'être démontés, les tenons, embrèvements, feuillures, ainsi que les boulons, seront enduits avec soin avant l'assemblage.

Les abouts des pièces seront l'objet d'une attention particulière, afin que la couche de goudron y soit bien épaisse et bien adhérente ; lorsque l'ordre écrit en sera donné par l'ingénieur, on appliquera entre les faces d'assemblage une feuille de papier fort, trempé dans le goudron.

Le *coaltar* à appliquer sur les enduits et chapes en béton des voûtes sera également employé à trois couches ; on étendra la première quand le mortier sera bien sec, et successivement les autres à trois ou quatre jours d'intervalle, suivant la saison ; chacune des couches sera, aussitôt après la pose, abondamment saupoudrée de sable fin et sec.

Art. 216. — L'étoupe pour le *calfatage des joints* sera livrée en torons bien serrés et dépouillés de tous corps étrangers.

Les joints à calfater seront garnis d'étoupe goudronnée, enfoncée à deux reprises après avoir été chauffée. Ils seront ensuite remplis jusqu'à saturation de brai gras bouillant.

§ 3. *Mode de métrage des fournitures et mains-d'œuvre.* — Art. 217. — On divisera les peintures soit à la colle, soit à l'huile en *peinture ordinaire*, *peinture soignée* et *peinture en décors*.

Seront considérées comme peintures ordinaires toutes celles faites dans les corridors, escaliers de service, cabinets d'aisances, magasins, cuisines, offices, lycées, écoles, corps de garde, casernes, bureaux divers, remises, écuries et tous autres bâtiments analogues, ainsi que les peintures unies extérieures, pour croisées, portes, balcons, grillages, tuyaux de descente et ravalement de façades sur cour et sur rue.

Seront considérées comme peintures soignées toutes celles faites dans les pièces principales des appartements sur ordre de service de l'ingénieur.

Seront considérées comme peintures de décors toutes les peintures faites en imitation de bois, marbre, coupe de pierres à un ou plusieurs filets, granits, porphyre, bronze, etc.

Art. 218. — Les ouvrages préparatoires et les peintures à l'huile ou à la détrempe au-dessus de 15 centimètres de largeur seront mesurés *au mètre superficiel* en œuvre, tous vides déduits ; il ne sera fait aucune autre compensation que celles admises pour les croisées et portes-croisées indiquées ci-après, article 219.

Art. 219. — Les *croisées et portes-croisées* dont les carreaux n'auront pas plus de 1 décimètre superficiel seront *mesurées* sans déduction des verres ; mais il ne sera tenu aucun compte des épaisseurs des battants, feuillures, noix et gueules-de-loup.

Les carreaux ayant plus de 1 décimètre de surface seront déduits, mais en abandonnant 5 centimètres sur chacune des dimensions de ces carreaux, pour tenir compte des épaisseurs de battants, feuillures, gueules-de-loup, etc.

Art. 220. — Les *persiennes* sont mesurées d'une rive à l'autre sans rien ajouter pour épaisseur des vantaux ou de dormants, ou pour les ferrures non détachées sur les battants; elles seront comptées à trois faces pour deux, quel que soit le nombre des vantaux par baie.

Art. 221. — Les *portes et lambris à cadres* seront également mesurés d'une rive à l'autre, quelles que soient la largeur et la saillie des cadres.

Les épaisseurs et feuillures de portes seront seules, avec les saillies de chambranles, comptées en plus.

Les *corniches* seront mesurées d'après leur pourtour moyen et leur profil réel développé.

Art. 222. — Lorsque les cadres ou autres parties de lambris seront *rechampis de plusieurs tons*, on ne les mesurera pas séparément, mais on indiquera que la peinture est faite à deux, trois ou quatre tons.

Art. 223. — Les *plinthes*, *champs*, *bandeaux*, etc., jusqu'à 0m,15 de développement, seront comptés au mètre linéaire, ainsi que les barreaux, filets et moulures feintes.

Art. 224. — Seront comptés *à la pièce* les nettoyages de contre-cœur, pièces de ferrures, nettoyages de chambranles de cheminées et les lettres ou chiffres ; il ne sera rien alloué pour les accents, points et virgules qui dépendent des inscriptions.

Art. 225. — Les travaux exécutés de jour, dans des locaux non éclairés, ne donneront lieu à aucune plus-value ; toutefois il sera tenu compte de la lumière.

Art. 226. — Le *ponçage* ne sera accordé sur les corniches et plinthes, ainsi que sur les enduits ordinaires, que sur ordre de service de l'ingénieur.

Il ne sera jamais accordé sur les peintures à une couche ni sur les peintures pour décors en travaux ordinaires.

Art. 227. — Le *prix du rebouchage* sur peinture à une couche sera réduit à moitié.

Pour les ravalements extérieurs, le rebouchage ne sera accordé que s'il a été fait par ordre de l'ingénieur.

Art. 228. — Les *enduits sur moulures* ne seront accordés que lorsqu'ils auront été faits par un ordre spécial de l'ingénieur; les prix des enduits comprennent tous les rebouchages faits avant, pendant ou après l'opération.

Art. 229. — Les *prix de badigeon* comprennent l'égrenage et le léger grattage nécessaire.

Art. 230. — Il ne sera jamais alloué de troisième couche pour les *peintures à la colle*, à moins d'ordres écrits de l'ingénieur.

Art. 231. — Il ne sera accordé de *travaux à l'huile bouillante* que sur ordre de l'ingénieur, et encore la deuxième couche, pour être admise, devra-t-elle donner lieu à un ordre spécial.

Art. 232. — Lorsque les *ravalements seront peints à l'huile*, les prix des huiles ordinaires seront augmentés de 1/10, et ces prix comprendront tous les échafauds, de quelque nature qu'ils soient, comme aussi la pose, la dépose, toutes les mains-d'œuvre accessoires et tous frais de gardiens.

Cette plus-value ne sera pas accordée lorsque le travail aura été exécuté à la corde neuve.

Lorsque, pour la peinture d'un ravalement, les échafauds n'auront pas été établis aux frais de l'entrepreneur de peinture, les prix des huiles ordinaires seront diminués de 1/10.

A moins d'ordre contraire, il ne sera jamais accordé que deux couches sur les ravalements.

Art. 233. — Dans les *peintures soignées*, faites sur plâtre, plâtre cru ou bois neuf, la couche d'impression ne sera payée que comme peinture ordinaire.

Chaque couche de peinture soignée comprend un léger ponçage et une revision du rebouchage en mastic teinté.

Art. 234. — Les prix de la série pour les *peintures, soit à la colle, soit à l'huile*, seront augmentés de 1/10 lorsque les peintures seront faites sur *bois brut ou moellons non enduits.*

Art. 235. — Pour un travail neuf, quel que soit le temps écoulé entre l'application de chacune des couches de peinture, le prix complet du travail achevé ne saurait être supérieur à celui fixé à la série; en conséquence, pour les deuxième, troisième et quatrième couches, on n'allouera que les prix de ces opérations, quelle que soit l'époque où les couches successives ont été données.

Art. 236. — La plus-value de *couleur fine* ne sera jamais allouée pour des tons verts, bronze, bleu d'armoire, brun, olive ou tout autre ton analogue, ces travaux étant exécutés le plus ordinairement dans des magasins, cuisines, etc., corps de gardes, hospices, casernes, etc.

Art. 237. — Il ne sera jamais alloué plus d'une couche en *rechampissage*, à moins d'ordre exprès de l'ingénieur.

Art. 238. — La peinture sur *grillage en fer ou laiton* sera mesurée comme celle des parties unies, sans plus-value pour les châssis au pourtour.

Chaque face de grillage recouverte de peinture sera comptée en raison de l'ouverture de la maille, savoir :

Jusqu'à 0m,019, à moitié en plus de la surface ;

De 0m,20 à 0m,024, à un quart en plus de la surface ;

De 0m,025 à 0m,029, à l'entier de la surface ;

De 0m,030 à 0m,040, aux trois quarts de la surface ;

De 0m,041 à 0m,050, à moitié de la surface.

Pour les *treillages*, y compris les faces des poteaux :

Jusqu'à 0m,05 de mailles, à trois fois pour les deux faces;

De 0m,051 à 0m,080 de mailles, à deux fois et demie pour les deux faces;

De 0m,081 à 0m,110 de mailles, à deux fois pour les deux faces;

De 0m,111 à 0m,150 de mailles, à une fois et demie pour les deu faces;

De 0m,151 à 0m,200 de mailles, à une fois pour les deux faces.

Les treillages peints à une face seulement seront comptés aux troi quarts des évaluations ci-dessus.

Les saillies ou épaisseurs des poteaux seront mesurées à part et comptées pour leur surface réelle.

Art. 239. — Les prix de décors pour *bois et marbre* très soignés ne seront alloués que sur un ordre de service de l'ingénieur.

Pour tout travail fait par petits panneaux ou petits compartiments, il ne sera alloué de plus-value que lorsque le travail comprendra plus de deux panneaux par mètre superficiel.

A moins d'ordre écrit de l'ingénieur, il ne sera jamais accordé plus de deux couches de fond pour décors sur parties n'ayant pas encore été peintes; sur les anciennes peintures il ne sera admis qu'une seule couche.

Art. 240. — Il ne sera admis de troisième couche pour les *plinthes* que sur ordre spécial de l'ingénieur.

Art. 241. — Les *filets droits* exécutés *sur murs circulaires* ou à surfaces courbes ne donneront lieu à aucune plus-value.

Art. 242. — Les pièces de *ferrure* ne seront payées séparément que lorsqu'elles seront détachées des boiseries ou murs, et peintes d'un ton différent de celui desdites boiseries ou murs.

§ 4. *Dispositions spéciales.* — Art. 243. — L'entrepreneur sera tenu de faire à ses frais, et suivant les indications de l'ingénieur, les *essais ou échantillons* de peinture qui lui seront demandés; il fournira également un échantillon de goudron à ses frais, et en fera une application d'essai sur la surface de bois ou de fer qui lui sera indiquée.

Art. 244. — L'ingénieur aura toujours le droit, quel que soit le degré d'avancement des travaux, de vérifier, au moyen d'*analyses chimiques* faites aux frais de l'entrepreneur, la *qualité des matières employées;* dans le cas où ces matières seraient de qualité inférieure à celles demandées, les travaux seront refaits aux frais de l'entrepreneur, qui supportera également toutes les dépenses accessoires qui en seront la conséquence, et sans préjudice des poursuites judiciaires qui pourront être jugées opportunes. Si, par une nécessité quelconque, l'Administration décidait de conserver les travaux défectueux, ils subiront, en outre du rabais de l'adjudication, une moins-value déterminée par l'Administration, sans que l'entrepreneur puisse présenter aucune réclamation à cet égard.

Art. 245. — L'Administration se réserve le droit de faire exécuter directement, par voie de régie, toutes les fois qu'elle le jugera utile, certains ouvrages très soignés, difficiles ou mal définis au devis, quoique faisant partie de ceux adjugés; l'entrepreneur ne pourra rien réclamer pour les bénéfices qu'il aurait pu faire sur ces ouvrages.

Prix élémentaires payés par l'entrepreneur, à Paris[1]

TERRASSE

1 heure de terrassier, compris outillage	0 fr. 55
— de puisatier	0 75
— d'aide-puisatier	0 55
— de voiture à 1 cheval	1 40
— — à 2 chevaux	2 20
— — à 3 —	2 80

MAÇONNERIE

1 heure de tailleur de pierre pour ravalement, compris outillage	1 fr. »[2]
— de tailleur de pierre	0 75
— de poseur	0 75
— de contre-poseur	0 65
— de ficheur	0 60
— de pinceur	0 60
— de bardeur	0 60
— de moucheteur ou enduiseur	1 00
— de maçon	0 75
— de limousin	0 60
— de garçon maçon ou limousin	0 475
— de briqueteur	0 725
— de garçon briqueteur ou moucheteur	0 50
— de gardien de rue	0 35

Évaluation et prix des légers ouvrages à Paris

Prix bruts, c'est-à-dire de revient à l'entrepreneur, des journées et des matériaux employés pour légers ouvrages. Il faut ajouter 27 0/0 pour faux frais et bénéfice de l'entrepreneur.

D'une heure de compagnon maçon	0 fr. 75
— de garçon	0 475
Du mètre cube de plâtre	17 00
— de plâtras blancs	6 00
D'une botte de 52 lattes de cœur de chêne	1 30
D'un mille de bouts de bardeaux en bois neuf de 0m,32 de long	6 00
De 1 kilogramme de clous à lattes	0 70

ÉVALUATION ET PRIX DE RÈGLEMENT

Prix moyen du mètre carré de légers ouvrages dans Paris, d'après la *Série de prix de la Société centrale des Architectes* de 1897	4 fr. 00

[1] Pour avoir le prix payable à l'entrepreneur, il faut ajouter aux prix indiqués 17 0/0 pour les faux frais et 10 0/0 pour le bénéfice, soit en tout 27 0/0.

[2] Le prix de règlement est 1 fr. 30, compris faux frais et bénéfice.

FIN

LIBRARY OF THE UNIVERSITY

TOURS. — IMPRIMERIE DESLIS FRÈRES

EN VENTE A LA LIBRAIRIE
Vve Ch. DUNOD, Éditeur, 49, quai des Grands-Augustins, Paris

EN COURS DE PUBLICATION

BIBLIOTHÈQUE
DU
CONDUCTEUR DE TRAVAUX PUBLICS

ENSEMBLE DES CONNAISSANCES INDISPENSABLES

AUX CONDUCTEURS DES PONTS ET CHAUSSÉES ET CONDUCTEURS MUNICIPAUX, AGENTS VOYERS, CONTROLEUR DES MINES, CHEFS DE SECTION, ARCHITECTES, ENTREPRENEURS, CONDUCTEURS DE TRAVAUX, INSPECTEURS, VÉRIFICATEURS, ETC.

PUBLIÉE SOUS LES AUSPICES
De MM. les Ministres des Travaux Publics, de l'Agriculture, de l'Intérieur, de l'Instruction publique, du Commerce et de l'Industrie, des Colonies et de la Justice

SOUS LE PATRONAGE
D'un Comité composé d'Ingénieurs des Ponts et Chaussées, des Mines, des Professeurs des Écoles spéciales, etc., par un Comité de rédaction formé de Conducteurs des Ponts et Chaussées et Municipaux, d'Agents voyers, de Contrôleurs des mines, etc.

Chacune des parties parues forme un élégant volume de 300 à 500 pages, accompagné de nombreux dessins, relié en mouton souple et d'un format portatif.

Volumes parus vendus séparément au prix de :

Mathématiques	8	50	Chemins de fer : Locomotive et matériel	12	»
Mécanique, Hydraulique, Thermodynamique	9	»	Exploitation des mines	9	»
Physique et Chimie	8	50	Chaudières à vapeur	12	»
Topographie, Instruments	12	»	Machines hydrauliques	10	»
Maçonneries	10	»	Législation et contrôle des Appareils à vapeur	8	»
Bois et métaux	8	»	Architecture	15	»
Droit civil	8	»	Charpente et couverture	10	»
Droit administratif	9	»	Menuiserie, Serrurerie, Plomberie, Peinture et Vitrerie	10	»
Procédure civile et droit pénal	8	»	Fumisterie, Chauffage et Ventilation	10	»
Organisation des services de Travaux publics	8	»	Agriculture	9	»
Comptabilité des Travaux publics et tenue des bureaux	12	»	Hydraulique agricole, 1re et 2e parties	12	»
Hygiène	7	50	Hydraulique agricole, 3e partie	15	»
Voie publique	12	»	Théorie et production de l'Electricité	12	»
Egouts. — Assainissement	18	»	Photographie	9	»
Plantations, Jardins et Promenades	11	»	Génie	12	»
Eclairage	12	»			
Chemins de fer : Construction et Voie	12	50			

La table des matières de chacun de ces volumes est envoyée gratuitement sur demande. Le prix du livre demandé peut être payé en deux fois : la moitié un mois après la réception du volume, l'autre moitié trois mois après le premier versement.

(La Librairie se charge de la fourniture de tous les livres français et étrangers et envoie son Catalogue complet à toutes les personnes qui lui en font la demande.)

TOURS. — IMPRIMERIE DESLIS FRÈRES.

14 DAY USE
RETURN TO DESK FROM WHICH BORROWED
LOAN DEPT.
This book is due on the last date stamped below, or on the date to which renewed.
Renewed books are subject to immediate recall.

1 Sep'59PW
REC'D LD
AUG 18 1959

LD 21A-50m-4,'59
(A1724s10)476B

General Library
University of California
Berkeley

YC105295

104890
TA403
C5
Clarke 1899